



TUGAS AKHIR - TM 145502

**RANCANG BANGUN MEJA MESIN PLASMA CUTTING DENGAN
GERAK 3 AXIS X, Y, Z MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER
BERBASIS ARDUINO**

ENDI CAHYONO
NRP 2113 030 004
BRAMA MAGROBI HARIANTO
NRP 2113 030 047

Dosen Pembimbing
Ir. Winarto. DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 145502

**RANCANG BANGUN MEJA MESIN PLASMA CUTTING DENGAN
GERAK 3 AXIS X, Y, Z MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER
BERBASIS ARDUINO**

ENDI CAHYONO

NRP 2113 030 004

BRAMA MAGROBI HARIANTO

NRP 2113 030 047

Dosen Pembimbing

Ir. Winarto. DEA

NIP. 19601213 198811 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III

JURUSAN TEKNIK MESIN

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM 145502

**MANUFACTURING OF PLASMA CUTTING TABLE WITH 3
AXIS MOVEMENT X, Y, Z USING MOTOR STEPPER BASED ON
ARDUINO**

ENDI CAHYONO

NRP 2113 030 004

BRAMA MAGROBI HARIANTO

NRP 2113 030 047

ADVISOR

Ir. Winarto. DEA

NIP. 19601213 198811 1 001

Diplome III Program

Mechanical Engineering Departement

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute Of Technology

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM 145502

**MANUFACTURING OF PLASMA CUTTING TABLE WITH 3
AXIS MOVEMENT X, Y, Z USING MOTOR STEPPER BASED ON
ARDUINO**

ENDI CAHYONO
NRP 2113 030 004
BRAMA MAGROBI HARIANTO
NRP 2113 030 047

ADVISOR
Ir. Winarto. DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

Diplome III Program
Mechanical Engineering Departement
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017

RANCANG BANGUN MEJA MESIN PLASMA CUTTING DENGAN GERAK 3 AXIS X, Y, Z MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
Pada
Program Studi D3 Teknik Mesin
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:
Dosen Pembimbing



Ir. Winarto. DEA

NIP. 19601213 198811 1 001

**SURABAYA
JANUARI, 2017**

Rancang Bangun Mesin Meja Plasma Cutting Dengan Gerak 3 Axis X,Y,Z Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino

Nama Mahasiswa : Endi Cahyono
(2113 030 004)
Brama Magrobi Harianto
(2113 030 047)
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Winarto, DEA

Abstrak

Permasalahan dari *plasma cutting* yang umum digunakan di pasaran saat ini yaitu masih *handy portable*, serta tidak dilengkapi peralatan penggerak. Hal ini mengakibatkan kinerja mesin *plasma cutting* saat pemotongan belum maksimal dan untuk gerakan dari *hand torch* relatif tidak konstan karena mesin masih dioperasikan secara manual (tangan).

Pada tugas akhir ini dibuat suatu rancang bangun meja *plasma cutting* untuk mengoptimalkan kinerja mesin *plasma cutting* pada saat proses pemotongan pelat. Kinerja yang dioptimalkan adalah kecepatan pemotongan benda kerja dan SOD (*Stand-Off Distance*) terhadap benda kerja dengan konstan. *Stand-off distance* adalah jarak antara *torch plasma* dengan benda kerja.

Dari perhitungan, torsi maksimal yang diperlukan untuk meja *plasma cutting* adalah 0,0148 N.m, dan daya maksimum sebesar 0,464 watt. Gerak bebas dari mesin meja *plasma cutting* yaitu sumbu X = 200 mm, sumbu Y = 190 mm, dan sumbu Z = 140 mm. Motor yang dipilih adalah motor *stepper* karena harganya relatif lebih murah dan spesifikasi dari motor *stepper* memenuhi kriteria dari perhitungan.

Keyword: *Plasma Cutting, Stand-Off Distance, Motor Stepper*

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

Maufacturing Of Plasma Cutting Table With 3 Axis Movement X,Y,Z Using Motor Stepper Base on Arduino

Student Name : **Endi Cahyono**
(2113 030 004)
Brama Magrobi Harianto
(2113 030 047)
Department : **D3 Mechanical Engineering FTI-ITS**
Advisor : **Ir. Winarto, DEA**

Abstract

Problem of plasma cutting that still handy portable and doesn't include transmission devices. This resulted of engine performance plasma cutting not maximal and movement of hand torch relatively not constant since machine was operated manually (hand).

In this final project created a manufacture of plasma cutting table to optimize engine performance from plasma cutting during cutting process plate. Performance is optimized cutting speeds of the workpiece and SOD (Stand-Off Distance) against the workpiece constant. Stand-off distance is distance between plasma torch to workpiece.

From calculations, the maximum torque required for plasma cutting table is 0,0148 N.m and maximum power is 0,464 watt. Free movement of plasma cutting machine table is X axis = 200 mm, Y axis = 190 mm, and Z axis = 140mm. Motor Stepper has choosen because it relative inexpensive And spesification from motor stepper is compatible of the calculation.

Keywords: *Plasma Cutting, Stand-Off Distance, Motor Stepper*

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*)....

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

RANCANG BANGUN MEJA MESIN PLASMA CUTTING DENGAN GERAK 3 AXIS X, Y, Z MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO.

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Manufaktur di Program Studi D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Terlaksananya dan tersusunnya tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan kerjasama yang baik dari semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalam Tugas Akhir ini. Oleh Karena itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Winarto. DEA selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan bantuan sehingga penulis mampu mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak Ir. Denny ME Soedjono selaku koordinator tugas akhir Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
5. Semua dosen dan karyawan Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
6. Ibu dan Bapak tercinta yang telah memberikan dorongan moril, materil, serta spiritual kepada penulis.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2013 yang selalu memberikan motivasi, serta doanya.

8. Terimakasih kepada Sandro Prasetyo, Khoirudin, dan Achmad Nurhisyam karena telah membantu menyelesaikan pembuatan alat dan buku tugas akhir ini.
9. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Akhirnya semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk sekarang dan masa depan yang akan datang. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih banyak terdapat kekurangan, sehingga saran dan kritik yang membangun mampu menyempurnakan penulisan laporan dimasa yang datang.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

| | |
|----------------------|------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |

BAB I PENDAHULUAN 1

| | |
|---------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 2 |
| 1.5 Batasan Masalah | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |

BAB II DASAR TEORI 5

| | |
|--|----|
| 2.1 Pengertian <i>Plasma Cutting</i> | 5 |
| 2.2 Motor <i>Stepper</i> | 12 |
| 2.2.1 Motor <i>Stepper</i> Tipe <i>Hybrid</i> (HB) | 12 |
| 2.3 Material yang digunakan | 13 |
| 2.4 Perencanaan Elemen Mesin | 15 |
| 2.4.1 Baut | 15 |
| 2.4.2 Bantalan (<i>Bearing</i>) | 15 |
| 2.4.3 Perencanaan Bantalan | 17 |
| 2.4.4 Beban Ekuivalen pada Bantalan | 17 |
| 2.5 Ulir Penggerak (<i>Power Screw</i>) | 18 |
| 2.5.1 Macam-macam Ulir Menurut Bentuknya | 18 |
| 2.5.2 Penggerak Poros Ulir | 25 |
| 2.5.3 Perhitungan Daya Motor | 27 |
| 2.6 <i>Belt</i> dan <i>Pulley</i> | 27 |
| 2.6.1 Tarikan pada <i>Belt</i> | 27 |
| 2.6.2 <i>Tensioner Belt</i> | 28 |
| 2.7 <i>Sliding</i> Rel Laci | 28 |
| 2.8 <i>Arduino Uno</i> | 29 |

| | |
|---|-----------|
| BAB III METODOLOGI | 31 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 31 |
| 3.2 Material Penyusun | 36 |
| 3.3 Perencanaan Model Mekanik | 37 |
| 3.3.1 Komponen Mekanik | 37 |
| BAB IV PERHITUNGAN | 41 |
| 4.1 Desain Menggunakan Software CAD | 41 |
| 4.1.1 Desain Meja <i>Plasma Cutting</i> | 43 |
| 4.2 Perhitungan Sistem Mekanik | 43 |
| 4.2.1 Perencanaan Sistem Gerak Linier <i>Bearing</i> pada <i>Sliding</i> Rel Sumbu X | 43 |
| 4.2.2 Perencanaan Sistem Gerak Linier <i>Bearing</i> pada <i>Sliding</i> Rel Sumbu Y | 49 |
| 4.2.3 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu Z | 54 |
| 4.3. Perencanaan Daya Motor | 58 |
| 4.3.1 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu X | 59 |
| 4.3.2 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu Y | 60 |
| 4.3.2 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu Z | 61 |
| 4.4. Perencanaan <i>Belt</i> dan <i>Pulley</i> | 62 |
| 4.5. Perencanaan Model Elektrik | 64 |
| 4.5.1 Komponen Elektrik | 64 |
| 4.5.4.1 <i>Block Diagram</i> Komponen Elektrik | 65 |
| 4.5.4.2 <i>Wiring Diagram</i> | 66 |
| BAB V HASIL DAN ANALISA | 71 |
| 5.1 Pengujian Alat | 71 |
| 5.2 Sistem Gerak Sumbu X | 71 |
| 5.3 Sistem Gerak Sumbu Y | 74 |
| 5.4 Sistem Gerak Sumbu Z | 77 |
| BAB VI PENUTUP | 79 |
| 6.1 Kesimpulan | 79 |
| 6.2 Saran | 80 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| DAFTAR PUSTAKA | 81 |
| LAMPIRAN | |
| BIODATA | |

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*).....

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Tingkatan Fase Molekul pada Air Dalam Beberapa Kondisi | 5 |
| Gambar 2.2 Salah Satu Jenis Mesin <i>Plasma Cutting</i> | 6 |
| Gambar 2.3 Prinsip Dasar Proses Penopangan dengan <i>Plasma</i> | 6 |
| Gambar 2.4 Komponen <i>Torch</i> pada <i>Plasma Cutting</i> | 7 |
| Gambar 2.5 <i>Non-Transferred Arc Torch</i> | 8 |
| Gambar 2.6 <i>Single Transferred Arc Torch</i> | 9 |
| Gambar 2.7 <i>Dual Flow Torch</i> | 10 |
| Gambar 2.8 <i>Water Injection Plasma Torch</i> | 10 |
| Gambar 2.9 <i>Air Injection Plasma Torch</i> | 11 |
| Gambar 2.10 <i>Oxygen Injection Plasma Torch</i> | 11 |
| Gambar 2.11 <i>Motor Stepper</i> | 12 |
| Gambar 2.12 Konstruksi Internal Motor <i>Stepper</i> (hanya - ditampilkan dua utub per stator) | 13 |
| Gambar 2.13 Tipe-tipe Bantalan | 16 |
| Gambar 2.14 Bagian-bagian Bantalan | 17 |
| Gambar 2.15 <i>Ball Screw</i> | 18 |
| Gambar 2.16 Metrik Standart <i>Thread</i> | 19 |
| Gambar 2.17 <i>Whitworth Standard Tread</i> | 19 |
| Gambar 2.18 <i>Square Threads</i> | 19 |
| Gambar 2.19 <i>Acme Thread</i> | 20 |
| Gambar 2.20 Sket Momen Bending | 20 |
| Gambar 2.21 Jenis-jenis Ulir Penggerak | 21 |
| Gambar 2.22 Sket Tegangan Kompresi | 23 |
| Gambar 2.23 Diagram Gaya Ulir Penggerak | 24 |
| Gambar 2.24 <i>Mekanisme Ulir Penggerak</i> | 26 |
| Gambar 2.25 <i>Belt dan Pulley</i> | 27 |
| Gambar 2.26 Distribusi Tarikan atau Gaya pada <i>Belt</i> | 28 |
| Gambar 2.27 Mekanisme Pemasangan Rel Laci | 29 |
| Gambar 2.28 Arduino Uno | 39 |
| Gambar 3.1 Diagram Penelitian | 32 |
| Gambar 3.2 Sket Meja Mesin <i>Plasma Cutting</i> | 34 |
| Gambar 3.3 Desain Meja Mesin <i>Plasma Cutting</i> | 34 |
| Gambar 3.4 Pelat <i>Base</i> | 37 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.5 Pulley | 37 |
| Gambar 3.6 <i>Belt</i> (sabuk) | 37 |
| Gambar 3.7 Kopling | 38 |
| Gambar 3.8 Alluminium Profil | 38 |
| Gambar 3.9 <i>Linier Screw</i> dan <i>Lead Screw</i> | 38 |
| Gambar 3.10 <i>Sliding Rel</i> Laci | 39 |
| Gambar 3.11 <i>Ball Bearing</i> | 39 |
| Gambar 3.12 <i>Block Bearing</i> | 39 |
| Gambar 3.13 <i>Handwheel</i> | 40 |
| Gambar 3.14 Baut dan Mur | 40 |
| Gambar 4.1 Desain 3D Meja Mesin <i>Plasma Cutting</i> Menggunakan <i>Software CAD</i> | 41 |
| Gambar 4.2 Meja <i>Plasma Cutting Multiaxis</i> | 43 |
| Gambar 4.3 Arah Gerakan Sumbu X | 44 |
| Gambar 4.4 Arah Gerakan Sumbu Y | 49 |
| Gambar 4.5 Arah Gerakan Sumbu Z | 54 |
| Gambar 4.6 <i>Block Diagram</i> antar Komponen Elektrik | 65 |
| Gambar 4.7 <i>Wiring Diagram</i> | 66 |
| Gambar 4.8 <i>Board Arduino Uno</i> | 67 |
| Gambar 4.9 Adaptor 5V 2A | 68 |
| Gambar 4.10 <i>Driver Motor Stepper A4988</i> | 68 |
| Gambar 4.11 <i>Power Supply 5A</i> | 69 |
| Gambar 4.12 <i>Motor Stepper Nema 17HS4401</i> | 69 |
| Gambar 5.1 Sumbu X Saat Titik Awal | 72 |
| Gambar 5.2 Sumbu X Saat Titik Akhir | 73 |
| Gambar 5.3 Hasil Pengujian Garis Lurus pada Sumbu X | 73 |
| Gambar 5.4 Sumbu Y Saat Titik Awal | 75 |
| Gambar 5.5 Sumbu Y Saat Titik Akhir | 75 |
| Gambar 5.6 Hasil Pengujian Garis Lurus pada Sumbu Y | 76 |
| Gambar 5.7 Sumbu Z Saat Titik Awal | 78 |
| Gambar 5.8 Sumbu Y Saat Titik Akhir | 78 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium | 14 |
| Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium | 14 |
| Tabel 2.3 Tekanan Permukaan yang Diizinkan pada Ulir | 15 |
| Tabel 3.1 Daftar Material Penyusun Rangka Meja <i>Plasma Cutting</i> | 36 |
| Tabel 4.1 Komponen Sumbu YZ | 43 |
| Tabel 4.2 Komponen Sumbu Z | 49 |
| Tabel 4.3 Komponen Beban di Sumbu Z | 54 |
| Tabel 5.1 Data Awal Alat | 71 |
| Tabel 5.2 Data Motor | 71 |
| Tabel 5.3 Hasil Analisa Gerak pada Sumbu X | 72 |
| Tabel 5.4 Hasil Analisa Gerak pada Sumbu Y | 74 |
| Tabel 5.5 Hasil Analisa Gerak pada Sumbu Z | 77 |

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*).....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plasma cutting adalah proses yang digunakan untuk memotong baja atau logam. Dalam proses pemotongan pelat, gas yang terkandung dalam udara yang dikompresi (78% nitrogen, 21% oksigen, 1% argon) ditiup dengan kecepatan tinggi keluar dari *nozzel*, pada waktu yang sama busur listrik terbentuk melalui gas dari *nozzel* ke permukaan yang dipotong, kemudian mengubah sebagian dari udara menjadi *plasma*. *Plasma* memiliki panas yang cukup untuk melelehkan logam yang dipotong dan mampu bergerak dengan cepat untuk mencairkan logam dari bagian yang dipotong.

Proses *plasma cutting* diawali dengan udara yang terionisasi menjadi *plasma* dengan memanipulasi proses elektrik. Proses manipulasi yang terjadi adalah saat benda kerja memiliki muatan positif (+) mengikat muatan negatif (-) yang dimiliki oleh *torch*, sehingga terjadi proses ketidakstabilan pada ion. Pada saat proses ketidakstabilan yang terjadi pada ion, udara di sekitar antara benda kerja dan *torch* berubah menjadi *plasma*.

Bagian-bagian dari mesin *plasma cutting* adalah *inverter*, *ground negative* dan *hand torch*. *Hand torch* berfungsi untuk mengendalikan pemotongan. Sebuah elektroda juga terpasang didalam *hand torch* di belakang ujung *nozzle*. Untuk pasokan udara pada mesin *plasma cutting* didapat dari kompresor.

Permasalahan dari *plasma cutting* yang umum digunakan di pasaran saat ini yaitu masih *handy portable*, serta tidak dilengkapi peralatan penggerak. Hal ini mengakibatkan kinerja mesin *plasma cutting* saat pemotongan belum maksimal dan untuk gerakan dari *hand torch* relatif tidak konstan karena mesin masih dioperasikan secara manual (tangan), sehingga perlu adanya suatu alat bantu berupa meja *plasma cutting* untuk mengoptimalkan kinerja mesin *plasma cutting* pada saat proses pemotongan pelat. Kinerja yang dioptimalkan adalah kecepatan pemotongan benda kerja dan SOD (*Stand-Off Distance*)

terhadap benda kerja dengan konstan. *Stand-off distance* adalah jarak antara *torch plasma* dengan benda kerja.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah tersebut, maka direncanakan pembuatan sebuah meja mesin plasma cutting, dimana untuk mewujudkannya diperlukan beberapa penelitian, yaitu :

1. Bagaimana desain meja *plasma cutting* yang bergerak terhadap sumbu x, y, z.
2. Bagaimana memilih motor dan ulir agar pemotongan lebih stabil dan presisi.
3. Bagaimana rel laci dapat digunakan sebagai alternatif sistem gerak.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui gerak bebas yang terjadi pada sumbu x, y, z
2. Mendapatkan hasil pemotongan pada mesin *plasma cutting* yang lebih stabil dan presisi
3. Memanfaatkan rel laci sebagai alternatif sistem penggerak

1.4 Manfaat

Dengan adanya meja mesin *plasma cutting* ini diharapkan untuk kedepannya penggunaan *handy plasma cutting* pada proses pemotongan dan *stand-off distance* menjadi konstan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan perancangan dan memperjelas lingkup permasalahan yang akan dibahas, maka perlu ditentukan batasan masalahnya yaitu:

1. Material rangka yang digunakan adalah *aluminium profile* dengan dimensi l = 20mm dan t = 40 mm.

2. Penggunaan baut, mur, dan las lasan pada bagian-bagian sumbu x, y, z diasumsikan aman.
3. Perhitungan hanya mencakup perencanaan konstruksi.
4. *Sliding* pada x, y, z menggunakan 1 buah rel laci.
5. Tidak menghitung elektrik.
6. Tidak membahas pemrograman.
7. koefisien gesek pada rel laci dengan sistem *ball bearing* diasumsikan memiliki koefisien gesek yang sama dengan *ball bearing* sebesar 0,61.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang dipakai dalam penulisan laporan ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Berisikan tentang : latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, batasan masalah yang dilakukan, tujuan dari penelitian, beserta sistematika penulisan penelitian dan manfaat dari penelitian ini.

BAB II DASAR TEORI

Membahas tentang dasar-dasar teori yang digunakan sebagai dasar perhitungan dan pemikiran. Dasar teori diambil dari sumber referensi dan kajian-kajian pustaka yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI

Membahas tentang diagram alir sebagai metodologi penelitian, produk hasil dari alat yang diinginkan, serta mekanisme kerja meja mesin plasma cutting.

BAB IV PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN PROSES PEMBENTUKAN

Membahas tentang perhitungan dari perancangan meja mesin plasma cutting.

BAB V HASIL DAN ANALISA

Membahas tentang pengujian dan analisis dari data yang didapat dari hasil penelitian.

BAB VI PENUTUP

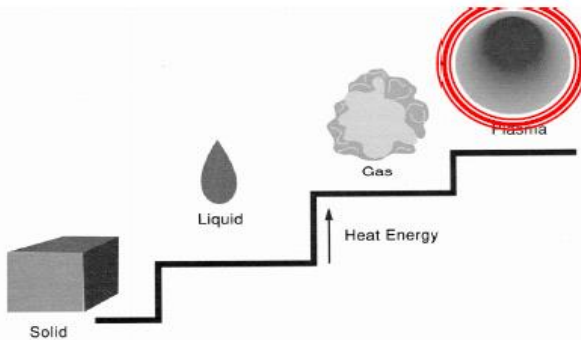
Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian *Plasma Cutting*

Plasma adalah suatu bentuk fase zat ke-4 setelah fase padat, cair, dan gas. Jika ditambahkan kalor, es akan berubah wujud dari padat ke cair, dan jika diberikan kalor berlebih maka zat cair tersebut akan berubah menjadi uap. Jika Uap tersebut ditambahkan kalor lagi maka akan berubah menjadi wujud plasma. Jika air ditambah sejumlah energi kalor maka air tersebut akan menguap dan mengurai menjadi dua gas yakni oksigen dan hydrogen.



Gambar 2.1 Tingkatan Fase Molekul pada Air dalam Beberapa Kondisi

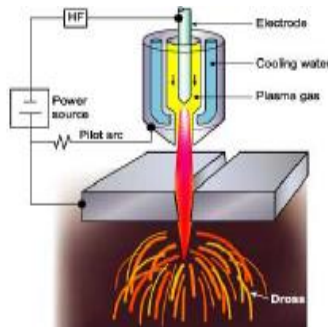
(jurnal: Al Antoni Akhmad, al_antoni@unsri.ac.id)

Dengan menambah sejumlah energi lagi pada fase uap air tersebut, akan didapatkan sejenis karakteristik fase yang mudah terpengaruh terhadap temperatur dan elektrisitas. Proses ini disebut proses Ionisasi, yaitu terjadinya ion dan elektron bebas melalui atom gas. Jika Keadaan ini terjadi maka fase zat tersebut telah berubah menjadi Plasma, yang memiliki efek konduktifitas yang sangat tinggi terhadap listrik karena banyak elektron bebas yang tersebar dan berpotensi untuk menyerap arus listrik.



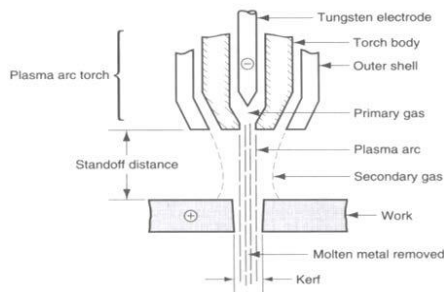
Gambar 2.2 Salah Satu Jenis Mesin *Plasma Cutting*
(www.inventerplasmacutting.com)

Gas yang digunakan pada plasma adalah argon, hidrogen dan nitrogen. Kombinasi argon dan nitrogen memberikan hasil yang terbaik. Untuk operasi pemotongan digunakan campuran 80% argon dan 20% hidrogen dengan arus sekitar 400 amper, untuk arus yang lebih tinggi digunakan campuran 65 : 35. Nitrogen hanya digunakan untuk memotong baja tahan karat, karena uapnya beracun diperlukan sistem pembuangan yang baik. Adapun gas yang dapat digunakan sebagai gas plasma selain argon dan hydrogen, yaitu udara yang terkompresi dan oksigen. Proses pemotongan dengan plasma ini secara skematis dapat dilihat seperti gambar 4 dibawah ini.



Gambar 2.3 Prinsip Dasar Proses Pemotongan dengan *Plasma*
(*Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB*)

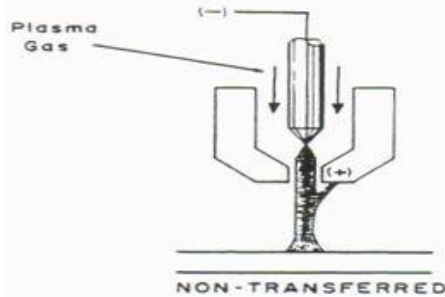
Gas yang digunakan pada *plasma cutting* ada 2, yaitu : 1. Gas Primer, gas ini merupakan gas yang dapat membuat busur plasma. Contohnya : Nitrogen, Argon, Hidrogen, oksigen atau campuran dari keempat bahan tersebut. 2. Gas Sekunder atau Air, gas sekunder berfungsi untuk mengelilingi busur elektrik dalam melindungi lokasi sekitar proses pemotongan dari gas primer agar lebih fokus dan tidak menyebar kemana-mana. Aliran *torch* pada mesin busur *plasma* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu : *Turbulent mode* tipe operasi pengerjaan jenis ini digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang tinggi dan mempunyai ukuran yang pendek. Selain ukurannya pendek, nyala api yang dihasilkan pada penggunaan operasi *turbulent mode* ini mempunyai temperatur cukup dingin pada daerah di luar *nozzel*. Metode ini sering digunakan dalam proses pemotongan, pengelasan dan proses penyemprotan. *Laminar mode* tipe operasi pengerjaan jenis ini digunakan untuk mendapatkan nyala api dengan kecepatan yang rendah dan mempunyai ukuran yang panjang. Gas yang memiliki laju aliran rendah dipertahankan di dalam suatu *nozzel* yang panjang untuk mendapatkan nyala api yang berkecepatan rendah dan panjang. Metode ini digunakan untuk pengerjaan material yang diinginkan terjadinya percikan dari lelehan logam yang menetes. Pada penggunaan dengan metode *laminar*, nyala api mempunyai kecepatan sekitar 50 m/s dan panjang nyala api sekitar 900 mm. Tipe *torch* pada *plasma cutting* adalah wadah proses ionisasi gas primer oleh elektroda yang akan dialirkan melalui *nozzle*.



Gambar 2.4 Komponen Torch pada *Plasma Cutting*
(Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

Ada dua macam tipe torch yang digunakan di dalam mesin busur plasma (*Plasma Arc Machine*) yaitu :

1. *Non-transferred arc torch*



Gambar 2.5 *Non-Transfer Arc Torch*
(*Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB*)

Pada *Non-transferred* (Gambar 2.5) *Arc Torch* kutub negatif (-) berada pada *tungsten electrode*, sedangkan kutub positif (+) berada *torch body*. *Torch* jenis ini ada beberapa macam, yaitu:

a. *Turbulent mode flame torch*

Nyala api yang dihasilkan *torch* jenis ini memiliki kecepatan tinggi dan mempunyai panjang nyala api sekitar 15 cm. *Torch* ini menggunakan elektroda yang berdiameter kecil dan *nozzel* yang memiliki panjang lubang 25 mm. Diameter lubang yang pada jenis ini dapat diubah-ubah. *Torch* jenis ini biasanya digunakan untuk pengerjaan semprot (*spraying*), pengerjaan *insulator* (penyekat) dan sintesis kimia.

b. *Laminar mode flame torches*

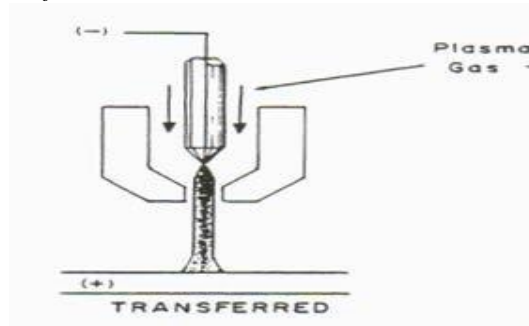
Nyala api yang dihasilkan *torch* jenis ini memiliki kecepatan rendah dan mempunyai panjang nyala api sekitar 1 m. *Torch* ini menggunakan elektroda yang berdiameter kecil dan *nozzel* yang memiliki panjang lubang lebih dari 125 mm. Nyala api yang dihasilkan dengan *torch* mode ini biasanya digunakan untuk proses *spherodizing* dan proses peleburan keramik.

c. *High power torches*

Torch jenis ini dirancang untuk busur yang mempunyai temperatur tinggi dan dioperasikan dengan arus listrik yang sangat

tinggi (lebih 2000A). Untuk mencegah terjadinya pengikisan *electrode* di *nozzel torch* digunakan bahan magnetik yang bersifat mengikat medan listrik.

2. *Transferred arc torch*



Gambar 2.6 *Single Transferred Arc Torch*
(Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

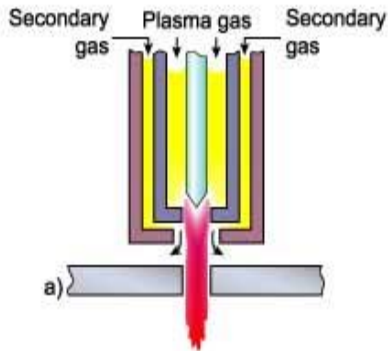
Pada *Transferred Arc Torch* (Gambar 2.6) kutub negatif (-) berada pada *tungsten electrode*, sedangkan kutub positif (+) berada pada benda kerja. *Torch* jenis ini ada beberapa macam, yaitu:

a. *Single flow torch*

Torch ini merupakan jenis yang paling sering digunakan pada operasi-operasi pengerjaan logam. Mode ini mempunyai elektroda yang berbentuk piringan yang di-*taper* pada bagian sisinya. Panjang lubang didalam *nozzel* dijaga seminimal mungkin (3-5 mm). *Single flow torch* biasanya digunakan untuk pengerjaan pemotongan baja dengan berbagai tipenya, aluminium dan berbagai jenis tembaga.

b. *Dual flow torch*

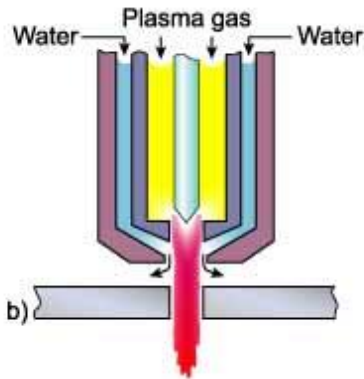
Pada *dual flow torch* ini terdapat adanya penambahan aliran gas yang mengitari busur utama untuk melindungi benda kerja (Gambar 2.7). Pada pemotongan baja karbon aliran gas tambahannya adalah oksigen. Pada pemotongan dengan *plasma* yang menggunakan oksigen mempunyai kecepatan potong yang sangat tinggi.



Gambar 2.7 Dual Flow Torch
 (Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

c. *Water Injection Plasma Torch*

Pada torch jenis ini digunakan air sebagai pelindung plasma, bentuknya seperti gambar 2.8 berikut.

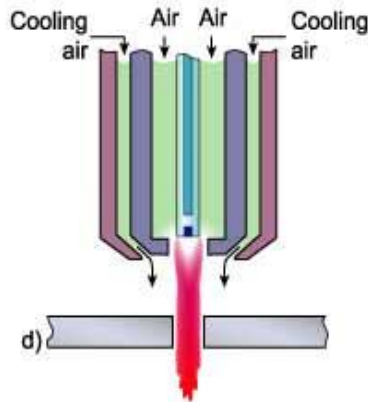


Gambar 2.8 Water Injection Plasma Torch
 (Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

d. *Air Injection Plasma Torch*

Plasma dengan pembentukan gas (Argon atau nitrogen) dapat diganti dengan udara tetapi ini memerlukan elektroda khusus dari hafnium zirconium atau tembaga yang terpasang di dudukan.

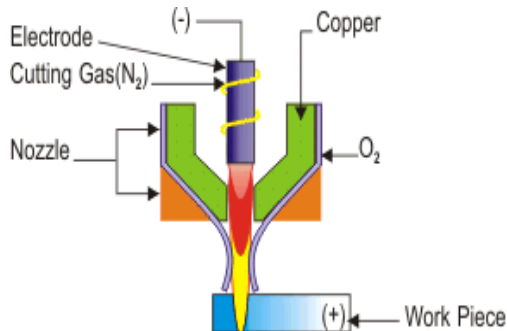
Elektroda *hafnium zirconium* harganya sangat mahal, oleh karena itu bisa diganti dengan elektroda *tungsten*, bentuknya seperti gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 *Air Injection Plasma Torch*
(Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

e. *Oxygen Injection Plasma Torch*

Jenis *torch* ini menggunakan *zirconium* sebagai elektrodanya. Menggunakan oksigen sebagai gas dari *plasma*. Umur elektroda pada jenis *torch* ini pendek (Gambar 2.10).



Gambar 2.10 *Oxygen Injection Plasma Torch*
(Proses-proses Non-Konvensional, Teknik Mesin, ITB)

2.2 Motor Stepper

Motor *Stepper* adalah suatu motor listrik yang dapat mengubah pulsa listrik yang diberikan menjadi gerakan motor *discret* (terputus) yang disebut *step* (langkah). Satu putaran motor memerlukan 360° dengan jumlah langkah yang tertentu per-derajatnya. Ukuran kerja dari motor *stepper* biasanya diberikan dalam jumlah langkah per-putaran per-detik.

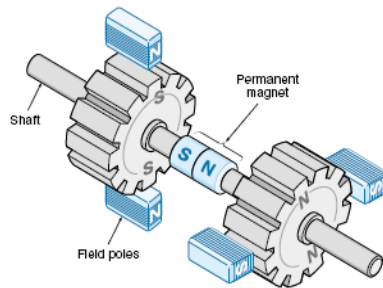


Gambar 2.11 Motor Stepper
(www.motorstepper.com)

Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membagikan puls-pulsa periodik. Pada tugas akhir ini motor yang digunakan yaitu motor *stepper* tipe *hybrid* (HB)

2. 2. 1 Motor Stepper Tipe Hybrid (HB)

Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki stuktur yang merupakan kombinasi dari kedua tipe motor *stepper* sebelumnya. Motor *stepper* tipe *hybrid* memiliki gerigi seperti pada motor VR dan juga memiliki magnet permanen yang tersusun secara aksial pada batang porosnya seperti motor tipe PM. Motor tipe ini paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena kinerja lebih baik. Motor tipe *hybrid* dapat menghasilkan resolusi langkah yang tinggi yaitu antara $3,6^\circ$ hingga $0,9^\circ$ per langkah atau 100-400 langkah setiap putarannya. Berikut ini adalah penampang melintang dari motor stepper tipe hybrid:



Gambar 2.12 Kontruksi Internal Motor *Stepper Hybrid* (Hanya Ditampilkan Dua Kutub per-Stator)
(www.motorstepper.com)

2.3 Material yang Digunakan

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan material aluminium sebagai struktur mekanik. Aluminium merupakan unsur melimpah ketiga terbanyak dalam kerak bumi setelah oksigen dan silicon. Dalam produksi aluminium, yang sangat penting adalah bauksit, yaitu alumunium oksida terhidrasi yang mengandung 50% sampai 60% Al_2O_3 , sampai 20% Fe_2O_3 , sampai 10% *silica* sedikit sekali *titanium*, *zirconium*, *vanadium*, dan oksida logam transisi yang lain dan sisanya (20% sampai 30%) adalah air.

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik.

Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi

tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar di las dan di solder (titik leburnya lebih dari 2000°C).

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

| Sifat sifat | Kemurnian Aluminium | |
|----------------------------------|------------------------|---------------------|
| | 99,996 | >99,0 |
| Massa Jenis (20 C) | 2,6968 | 2,71 |
| Titik Cair | 660,2 | 653-657 |
| Panas Jenis (cal/g. C) (100 C) | 0,2226 | 0,229 |
| Tahanan Listrik (%) | 64,94 | 59 |
| Hantaran Listrik Koefisien (/ C) | 0,00429 | 0,0115 |
| Koefisien Pemuaian (20-100 C) | $23,86 \times 10^{-6}$ | 23×10^{-6} |
| Jenis Kristal, konstanta kisi | Fcc, $a=4,013$ KX | Fcc, $a=4,04$ KX |

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Alumunium

| Sifat sifat | Kemurnian Aluminium | | | |
|--|---------------------|-------------------------|--------|------|
| | 99,996 | | >99,0 | |
| | Dianill | 75% diroll dingin | Dianil | H18 |
| Kekuatan Tarik (kg/mm^2) | 4,9 | 11,6 | 9,3 | 16,9 |
| Kekuatan Mulur (0,2%) (kg/mm^2) | 1,3 | 11,0 | 3,5 | 14,8 |
| Perpanjangan (%) | 48,8 | 5,5 | 35 | 5 |
| Kekerasan Brinell | 17 | 27 | 23 | 44 |

2.4 Perencanaan Elemen Mesin

2.4.1 Baut

Baut merupakan alat sambung dengan dimensi batang bulat dan berulir, salah satu ujungnya berbentuk kepala baut dan ujung lainnya dipasang mur / pengunci. Jika momen rencana dari poros adalah T (kg.mm) dan diameter poros d_s (mm), maka gaya tangensial F (kg) pada permukaan poros adalah :

$$F = \frac{T}{\left(\frac{d}{2}\right)} \quad (2.1)$$

Dengan tegangan geser :

$$T_k = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{4} X d^2\right)} \quad (2.2)$$

Memperoleh tegangan izin :

$$T_{ka} = \frac{a_t}{S_{fk1} X S_{fk2}} \quad (2.3)$$

Tabel 2.3 Tekanan Permukaan yang Diizinkan pada Ulir

| Bahan | | Tekanan permukaan yang diizinkan Pa (Kg/mm ²) | |
|------------|-------------------------|---|-----------------|
| Ulir Luar | Ulir Dalam | Untuk Pengikat | Untuk Penggerak |
| Baja Liat | Baja liat atau perunggu | 3 | 1 |
| Baja Keras | Baja liat atau perunggu | 4 | 1.3 |
| Baja Keras | Besi cor | 1.5 | 0.5 |

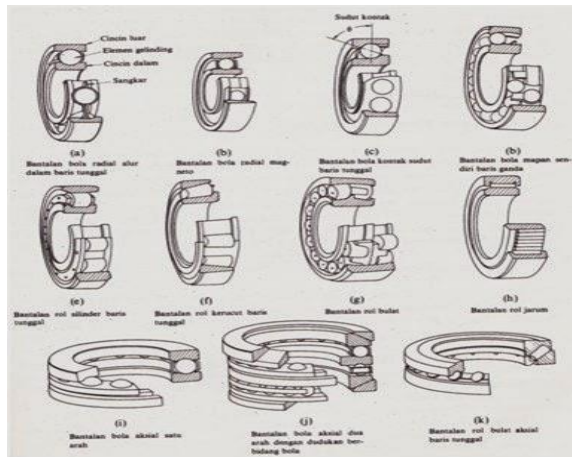
2.4.2 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan (*Bearing*) diperlukan untuk menumpu ulir penggerak berbeban, agar dapat berputar atau bergerak bolak-balik secara kontinyu serta tidak berisik akibat adanya gesekan. Posisi bantalan harus kuat, hal ini agar elemen-mesin dan ulir penggerak dapat bekerja dengan baik. Gesekan antara komponen mesin dapat

diminimalkan dengan menggunakan bantalan atau *bearing*. Peran pelumas lebih kecil, bentuk pelumas dapat berupa gas, cair maupun padat.

Secara umum bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

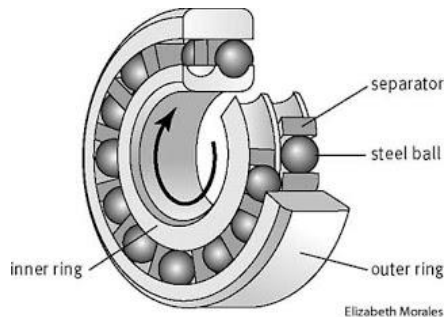
1. Mekanisme gerakan bantalan terhadap *screw* :
 - a) Bantalan luncur : Pada bearing ini terjadi gesekan luncur antara ulir penggerak dan bearing, karena permukaan ulir penggerak yang berputar bersentuhan langsung dengan bearing yang diam.
 - b) Bantalan gelinding : bearing ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam melalui bola, silinder dan jarum.
2. Atas arah beban terhadap ulir penggerak :
 - a) *Bantalan radial/radial* : menahan beban dalam arah radial/tegak lurus sumbu ulir penggerak.
 - b) *Bantal aksial/thrust* : menahan beban dalam arah *aksial*/sejajar dengan sumbu ulir penggerak.
 - c) Bantalan *radial-aksial* : Bantalan yang mampu menahan kombinasi beban dalam arah radial dan arah *aksial*/bantalan gelinding khusus.



Gambar 2.13 Tipe – Tipe Bantalan
(Sularso, 1985)

2.4.3 Perencanaan Bantalan

Dalam perencanaan ini akan digunakan jenis bantalan *gelinding* (*rolling bearing*) karena bantalan ini mampu menahan beban aksial maupun radial relatif besar. Bantalan gelinding umumnya lebih cocok untuk beban kecil daripada bantalan luncur. Tergantung dari pada bentuk elemen gelindingnya. Putaran pada bantalan ini dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Karena konstruksinya yang sulit dan ketelitian nya yang tinggi, maka bantalan gelinding ini hanya dibuat di pabrik-pabrik tertentu.



Gambar 2.14 Bagian – bagian Bantalan
(www.developmentsciencetechnology.blogspot.com)

2.4.4 Beban Ekuivalen pada Bantalan

Beban ekuivalen adalah beban radial yang konstan yang bekerja pada bantalan dengan ring dalam yang berputar dan ring luar yang tetap, dan akan memberikan umur yang sama, seperti bila bantalan bekerja dengan kondisi nyata untuk beban dan putaran yang sama. Beban ekuivalen pada bantalan adalah (*aaron deutschman*) :

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Dimana :

P = beban ekuivalen (kgf)

F_r = beban radial (kgf)

F_a = beban aksial (kgf)

V = faktor putaran (konstan) bernilai :

1,0 untuk ring dalam yang berputar

1,2 untuk ring luar yang berputar

X = konstanta radial (lihat tabel)

Y = konstanta aksial (lihat tabel)

2.5 Ulir Penggerak (*Power Screw*)

Ulir penggerak digunakan untuk meneruskan gerakan secara halus dan merata, disamping itu juga untuk menghasilkan gerakan linier yang berasal dari gerakan rotasi (memutar). Kinematika ulir penggerak sama dengan baut dan mur, bedanya terletak pada bentuk geometrisnya. Ulir penggerak mempunyai geometris yang aplikasinya untuk menghasilkan gerakan, oeh karena itu termasuk alat penggerak (*motion devices*).

Secara umum ulir penggerak mempunyai efisiensi antara 30%-75% tergantung pada sudut helix dan koefisien gesek antara ulir pada batang dengan ulir pada mur. Bila diinginkan efisiensinya naik sampai 90%, maka digunakan system ulir “*ball screw*”. System ini biasa digunakan untuk mekanisme *steer* mobil (*the steering mechanism of auto mobile*).



Gambar 2.15 Ball Screw
(*anaheimautomation.com*)

2.5.1 Macam-macam Jenis Ulir Menurut Bentuknya

Secara umum Ulir memiliki bermacam-macam bentuk berdasarkan jenis ulirnya, antara lain :

1. Ulir Segitiga

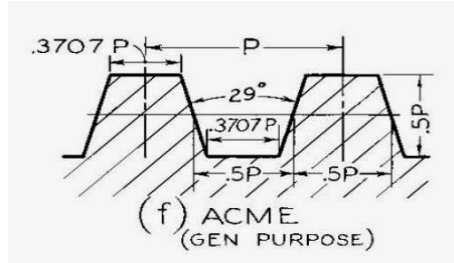
Merupakan jenis ulir dengan profil segitiga. Ulir segitiga jenis ini memiliki banyak standar, diantaranya :

a. Ulir Metrik (*Metric Standard Thread*)

Merupakan ulir segitiga dengan sudut puncak 60° dan keseluruhan dimensi dalam satuan metris. Ulir jenis ini memiliki *symbol* “M”.

3. Ulir *Acme* (*Acme Threads*)

Merupakan ulir dengan profil trapesium dengan sudut puncak 29° . Ulir jenis ini biasanya digunakan pada eretan maupun *leadscrew*. Ulir ini disimbolkan dengan "acme".



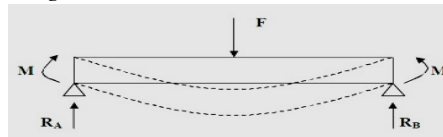
Gambar 2.19 *Acme Thread*
(Sularso, 1985)

Tegangan-tegangan yang terjadi pada ulir penggerak adalah sebagai berikut :

a. Tegangan *Bending*

Beban W dianggap merata dan bekerja pada diameter rata-rata (d_m), yang berjarak $0.5 h$ dari kaki ulir. Oleh karena itu dapat dianggap bagian yang diarsir pada gambar sebagai suatu batang *sentilever* yang pendek.

a. Momen *bending* maksimum



Gambar 2.20 Sket Momen *Bending*
(Sularso, 1985)

$$M = \frac{W.h}{2}$$

b. Tegangan *Bending*

$$\sigma_B = \frac{M.c}{I}$$

c. Momen *Inersia*

$$I = \frac{1}{12} (\pi \cdot dm \cdot n) \cdot b^3$$

d. Momen Tahanan

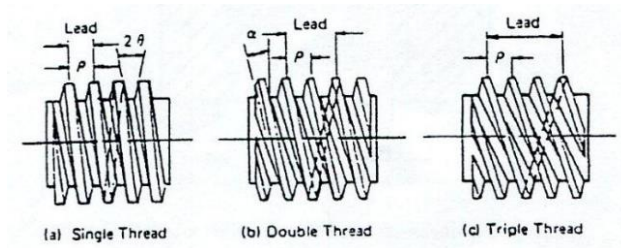
$$\frac{I}{c} = \frac{\frac{1}{12} (\pi \cdot dm \cdot n) b^3}{0,5 b} = \frac{(\pi \cdot dm \cdot n) b^3}{6}$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) besarnya tegangan *bending* maksimum yang terjadi adalah :

$$\sigma_B = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{W \cdot 0,5 h}{(\pi \cdot dm \cdot n) b^2 / 6}$$

$$\sigma_B = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot dm \cdot n) b^2}$$

b. **Tegangan Geser (*Transverse Shearing Stress*)**



Gambar 2.21 Jenis-jenis Ulir Penggerak
(Sularso, 1985)

$$\tau_{max} = \frac{1,5 \cdot W}{A} \text{ (untuk } z = nol \text{)}$$

Dimana:

Untuk batang ulir : $A = \pi \cdot dr \cdot n \cdot b$

Untuk mur $A = \pi \cdot do \cdot n \cdot b$

dr = diameter kaki pada batang ulir, in

do = diameter mayor dari ulir, in

1. Tegangan geser maksimum pada batang ulir

$$\tau_{max} = \frac{3.W}{2.A} = \frac{3.W}{2.\pi.dr.n.b}$$

2. Tegangan geser maksimum pada batang ulir

$$\tau_{max} = \frac{3.W}{2.A} = \frac{3.W}{2.\pi.do.n.b}$$

c. Tegangan Tarik atau Tegangan Kompresi

Akibat beban W *power screw* juga mengalami tegangan tarik atau tegangan kompresi. Luas bidang yang mengalami tegangan pada ulir penggerak ini lebih besar dari pada luasan dari bidang kaki ulir, dan diameternya adalah diameter rata-rata dari *pitch* dan diameter kaki (*root*). Luas bidang yang mengalami tegangan ini disebut “*tensile stress area*”. Jika ulirnya sendiri dianggap kuat, maka luasan bidang yang akan mengalami tegangan tarik atau kompresi ini didasarkan pada diameter kaki ulir, atau diameter batang yang tidak berulir (bagian dalam). Besarnya tegangan tarik atau tegangan kompresi yang timbul dapat dirumuskan :

$$\tau_1 = \frac{w}{A} \quad A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{dr + dp}{2} \right)^2$$

Bila ulirnya dianggap kuat dan yang dihitung adalah kemampuan batangnya, maka yang dimaksud dengan luas permukaan tarik atau geser adalah :

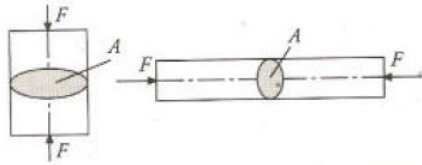
$$A = \frac{\pi}{4} dr^2$$

d. Tegangan Kombinasi

Bila batang ulir dianggap pendek, maka lenturan yang terjadi diabaikan. Oleh sebab itu ulir penggerak secara murni hanya menerima beban kompresi saja. Bila ditinjau pada diameter kaki ulir, maka pada luasan itu akan terjadi tegangan kombinasi antara

kompresi dan geser yang ditimbulkan oleh torsi pada saat memutar ulir tersebut.

1. Tegangan kompresi (terjadi pada area kaki ulir).



Gambar 2.22 Sket Tegangan Kompresi

$$\sigma_c = \frac{W}{A} = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot dr^2}$$

2. Tegangan geser yang disebabkan oleh torsi pemutar (T)

$$\tau = \frac{T \left(\frac{dr}{2} \right)}{J} = \frac{T \left(\frac{dr}{2} \right)}{\pi \cdot \left(\frac{dr^4}{32} \right)} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot dr^3}$$

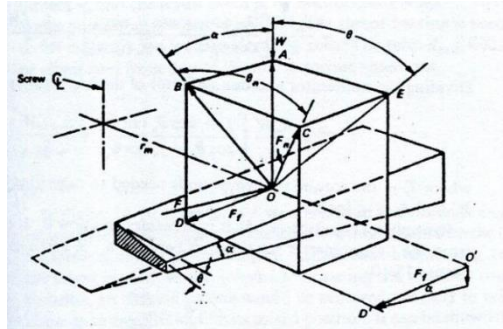
Tegangan geser maksimum yang terjadi dapat dihitung dengan metode Lingkaran Mohr.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_c}{2} \right)^2 + (r)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot dr^2} \right)^2 + \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot dr^3} \right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot W}{\pi \cdot dr^2} \right)^2 + \left(\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot dr^3} \right)^2}$$

Gaya yang dipergunakan untuk memutar *nut* adalah F bekerja pada “*mean dismeter*” (r_m) untuk melawan beban W tersebut, maka besarnya torsi yang diperlukan adalah :



Gambar 2.23 Diagram Gaya Ulir Penggerak
(Sularso, 1985)

$$T_R = F \cdot r_m$$

Dimana : $F = F_1 \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a$

$$F_n = \frac{W}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a}$$

Jadi $T_R = r_m (F_f \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a)$

Dimana : $F_f = f_s \cdot F_n$

$$T_R = r_m (f_s \cdot F_n \cdot \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a)$$

Bila koefisien gesekan adalah F_c , jari-jari rata-rata *collar* adalah r_{mc} , maka gaya gesek pada mur dan *collar* yang ditimbulkan oleh beban W adalah $F_c \cdot W$, sehingga torsi yang dibutuhkan untuk melawan ini adalah : $r_{mc} \cdot F_c \cdot W$

Sehingga total torsi yang diperlukan adalah :

$$T_R = r_m (f_s \cdot F_n \cos a + F_n \cos \theta_n \sin a) + r_{mc} f_c \cdot w$$

$$T_R = r_m \left(\frac{W \cdot f_s \cdot \cos a}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a} + \frac{W \cdot \cos \theta_n \cdot \sin a}{\cos \theta_n \cdot \cos a - f_s \cdot \sin a} \right)$$

Dimana : $r_m = \frac{d_m}{2}$ dan $r_{mc} = \frac{d_{mc}}{2}$

$$\tan \theta_n = \frac{BC}{OB} \text{ dan } BC = AE = OA \tan \theta = OB \cdot \cos a \cdot \tan \theta$$

$$\tan \theta_n = \cos a \cdot \tan \theta$$

Dalam aplikasi, α relatif kecil sehingga $\cos \alpha = 1$, dan $\tan \theta_n = \tan \theta$, dengan demikian maka dapat dianggap $\theta_n = \theta$, sehingga :

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{fs + \cos \theta \cdot \tan \alpha}{\cos \theta - fs \cdot \tan \alpha} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

Torsi yang dibutuhkan untuk menurunkan beban adalah sama dengan T_R , hanya karena berlawanan arah maka tanda-tanda pada suku gesekan antar ulir dibalik, sehingga :

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{fs + \cos \theta \cdot \tan \alpha}{\cos \theta - fs \cdot \tan \alpha} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

Melihat kembali ke depan, dimana:

$$\tan \alpha = \frac{l}{\pi \cdot dm} = \frac{n \cdot p}{\pi \cdot dm}$$

Substitusikan ke persamaan di atas, sehingga menjadi :

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{\pi \cdot fs \cdot dm - l \cos \theta_n}{\pi \cdot dm \cdot \cos \theta_n - fs \cdot l} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

$$T_R = \frac{dm \cdot W}{2} \left(\frac{\pi \cdot fs \cdot dm - l \cos \theta_n}{\pi \cdot dm \cdot \cos \theta_n + fs \cdot l} \right) + \frac{dm_c \cdot fc \cdot W}{2}$$

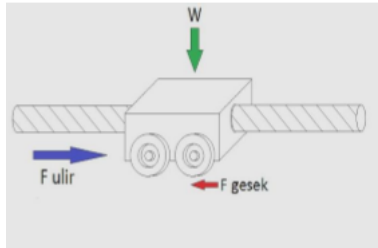
2.5.2 Penggerak Poros Ulir

Pergerakan sumbu X, dan Y digerakkan oleh sebuah motor sebagai penggerak dan poros ulir sebagai pengubah gaya puntir motor menjadi gaya dorong pada sumbu X dan Y. Gaya dorong ulir dapat diketahui dengan perhitungan tenaga ulir (*power screw*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung torsi gaya dorong ulir (Shigley and Mischke, 2001).

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \left(\frac{1 + \pi \cdot dm}{\pi \cdot dm - \mu \cdot l} \right)$$

Dimana :

- T = Torsi pada ulir (Nm)
- D_m = Diameter efektif ulir (m)
- F = Gaya dorong ulir (N)
- μ = Koefisien gesek permukaan ulir
- l = Kisar / pitch (m)



Gambar 2.24 Mekanisme Ulir Penggerak

Gaya dorong ulir adalah gaya minimum yang dibutuhkan untuk mendorong meja kerja. Sehingga nilainya dipengaruhi oleh massa meja kerja dan koefisien gesek permukaan dari meja kerja dengan permukaan yang menopangnya dan bukan koefisien gesek antara dua permukaan ulir. Dalam hal ini, karena meja kerja menggunakan bantalan bearing sebagai roda maka koefisien gesek yang bekerja adalah koefisien gesek bearing tersebut.

Diameter efektif ulir atau diameter tusuk ulir ialah diameter semu yang letaknya diantara diameter luar dan diameter inti. Pada radius diameter inilah letak titik singgung antara dua ulir.

Motor dapat mendorong meja kerja disebabkan oleh torsi yang dihasilkan motor harus lebih besar dari pada torsi yang bekerja pada ulir. Torsi pada motor berbanding terbalik dengan kecepatan motor, semakin besar kecepatan motor maka torsi yang dihasilkan akan menurun. Untuk menentukan torsi yang dihasilkan oleh sebuah motor digunakan persamaan (*Histand dan Alciatore, 1999*)

$$T = \frac{P}{\omega}$$

Dimana :

- T = Torsi yang dihasilkan motor (Nm)
- P = Daya yang digunakan (watt)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2.5.3 Perhitungan Daya Motor

Daya mekanis motor dinyatakan dalam *horse power* (h_p) atau *watt* (W), dimana $1 h_p = 746 \text{ W}$. Torsi dan kecepatan merupakan dua faktor penting dalam menentukan *output* daya mekanis. Torsi sendiri adalah besarnya puntiran / daya pemutar, dinyatakan dalam *pound-feet* (lb/ft). Kecepatan motor dinyatakan dalam putaran per menit. Sehingga *horse power* dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{T}{9,74 \times 10^5} n_1$$

Dimana : P = Daya motor listrik (kW)
 T = Torsi (kgf.mm)

2.6 Belt dan Pulley

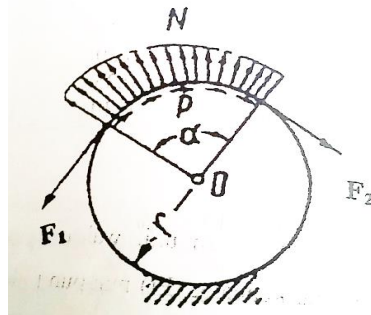
Belt termasuk alat pemindah daya yang cukup sederhana dibandingkan dengan rantai dan roda gigi. Belt terpasang pada dua buah pulley atau lebih. Pulley pertama sebagai penggerak sedangkan pulley lainnya sebagai pulley yang digerakkan.



Gambar 2.25 Belt dan Pulley
 (en.wikipedia.org)

2.6.1 Tarikan pada Belt

Ketika *belt* sedang bekerja, *belt* mengalami tarikan. Tarikan yang paling besar terjadi pada posisi belt yang sedang melingkar pada *pulley* penggerak. Distribusi tarikannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.26 Distribusi tarikan atau gaya pada belt
(Sularso, 1985)

Keterangan gambar :

α = sudut kontak antara *belt* dengan *pulley* (ras)

F_1 = gaya tarik pada bagian yang kencang

F_2 = gaya tarik pada bagian yang kendur

P = distribusi tarikan/gaya

N = gaya normal

r = jari-jari *pulley*

2.6.1 Tensioner Belt

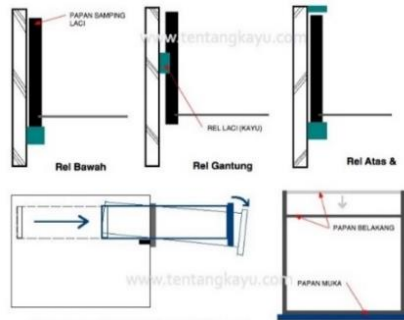
Fungsi dari *Tensioner Belt* adalah untuk menstabilkan atau menegangkan *timing belt*. *Belt* harus lebih panjang agar mudah dalam pemasangan.

2.7 Sliding Rel Laci

Sliding rel laci merupakan suatu alat yang mekanisme kerjanya memanfaatkan bola pejal (*ball bearing*) sebagai media penggerak dengan koefisien gaya gesek yang kecil. Part ini biasanya digunakan pada laci meja komputer atau meja barang lainnya. Karena kemampuannya yang dapat menahan beban hingga 10 kg dan bergerak dengan lembut (*slow motion*). Dengan konstruksi yang kokoh memungkinkan rel laci *sliding* mendistribusikan gaya arah vertikal maupun horizontal dengan maksimal dan merata.

Pada bagian belakang sliding rel laci terdapat lubang yang digunakan sebagai tempat sekrup/baut, untuk diikatkan ke kayu,

teflon, aluminium dan lain-lain. Pemasangan sliding rel laci dapat ditempatkan dalam posisi bawah, samping ataupun atas.



Gambar 2.27 Mekanisme Pemasangan Rel Laci
(www.tentangkayu.com/2008/12/rel-laci.html)

2.8 Arduino Uno

Arduino Uno adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 digital *input / output* pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai *output PWM*), 6 input *analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk mengoperasikannya.



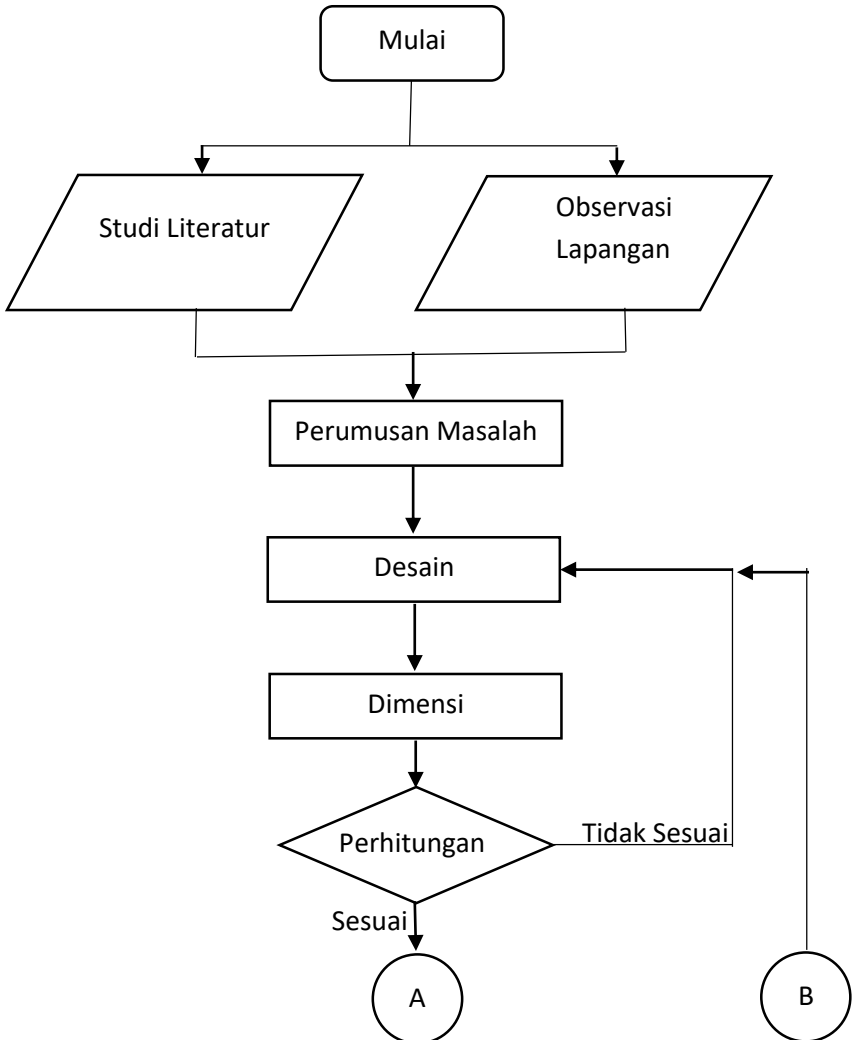
Gambar 2.28 Arduino Uno
(www.arduino.cc)

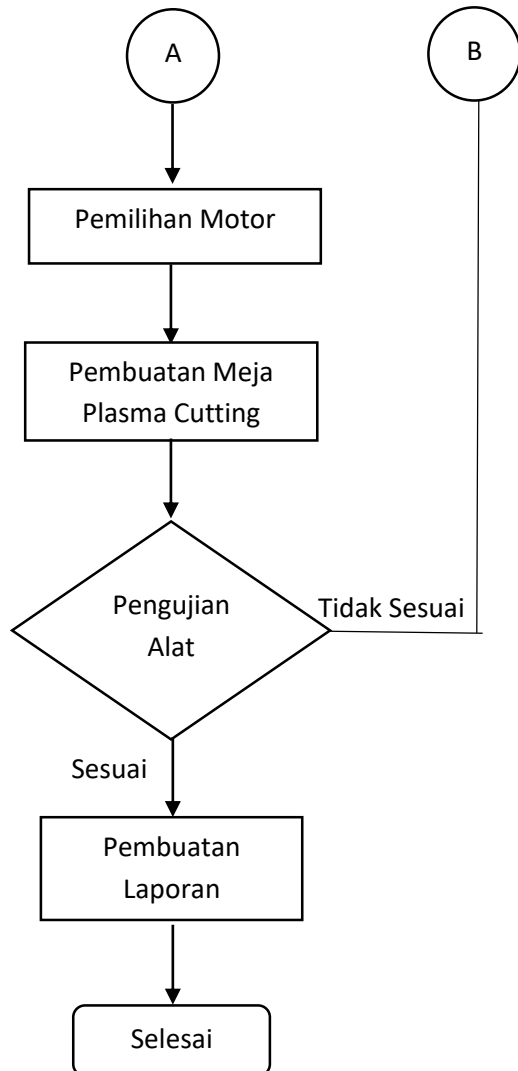
.....(*Halaman ini sengaja dikosongkan*).....

BAB III

METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Penelitian

Metode yang digunakan dalam suatu analisa atau studi harus terstruktur dengan baik sehingga dapat dengan mudah

menerangkan atau menjelaskan penelitian yang dilakukan. Oleh karena itu dalam tugas akhir ini digunakan metode simulasi yang dapat diuraikan seperti diagram alir di atas.

Proses dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai perencanaan meja mesin *plasma cutting* ini yang diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku, publikasi-publikasi ilmiah, dan survei mengenai komponen-komponen di pasaran.

2. Observasi Lapangan

Observasi atau studi lapangan ini dilakukan dengan survei langsung. Hal ini dilakukan dalam rangka pencarian data yang nantinya dapat menunjang penyelesaian tugas akhir ini.

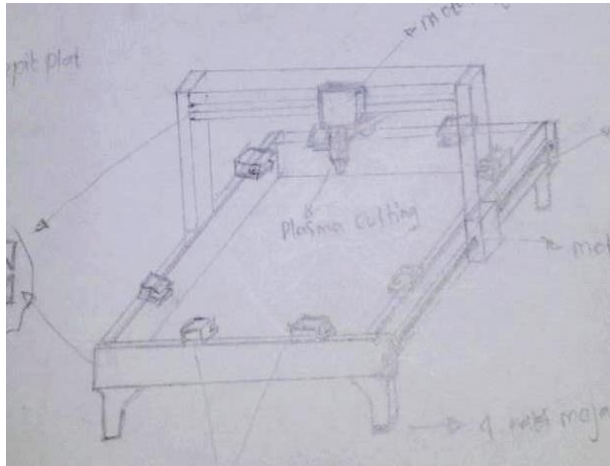
3. Perumusan Masalah

Bagaimana desain meja *plasma cutting* yang bergerak terhadap sumbu x, y, z dan Bagaimana memilih motor agar pemotongan lebih stabil dan presisi.

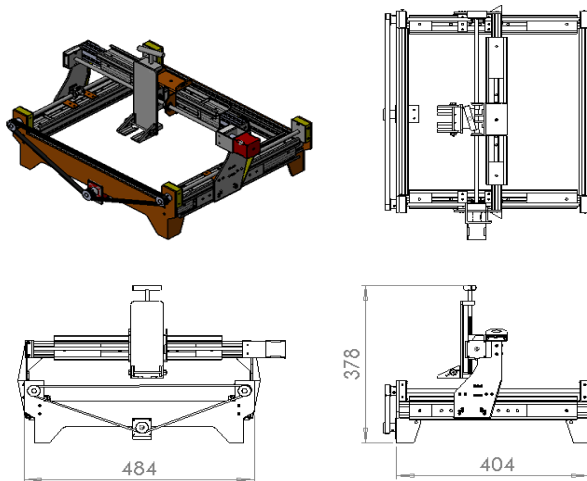
4. Penentuan Desain

Setelah melakukan studi literatur dan observasi lapangan adalah penentuan desain, yaitu sket awal dari meja mesin *plasma cutting*. Sket yang dibuat adalah sket pada bagian mekanik. Sket dilakukan dengan menggambar diatas kertas terlebih dahulu, kemudian menggambarkan dengan menggunakan software CAD sehingga didapatkan desain meja mesin *plasma cutting*.

Setelah mendapatkan desain mekanik, langkah selanjutnya yaitu menentukan peletakan / *plotting* komponen elektronik pada meja mesin *plasma cutting* agar sesuai dengan desain mekanik yang telah dibuat.



Gambar 3.2 Sket Meja Mesin *Plasma Cutting*



Gambar 3.3 Desain Meja Mesin *Plasma Cutting*

5. Penentuan Dimensi

Penentuan dimensi didapatkan dari rumusan masalah yang telah ditentukan diawal, yaitu merancang meja mesin *plasma cutting* yang dapat bergerak dengan 3 axis. Dari rumusan masalah tersebut menimbulkan suatu pemikiran dan solusi yaitu :

Dilihat dari konstruksi *sliding* rel lasi yang digunakan dengan panjang 400 mm, direncanakan :

- Dimensi alat $P \times l \times t = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 380 \text{ mm}$.

Dari dimensi alat yang telah direncanakan, diinginkan gerak bebas sumbu X, Y, Z :

- Batasan gerakan sumbu X sejauh 200 mm
- Batasan gerakan sumbu Y sejauh 200 mm
- Batasan gerakan sumbu Z sejauh 100 mm

6. Perhitungan

Perhitungan komponen mekanik berdasarkan definisi masalah yang telah disebutkan diatas. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan dimensi yang sesuai dengan desain dan aman saat berjalan meja mesin *plasma cutting*. Apabila saat melakukan perhitungan ada beberapa komponen yang tidak sesuai maka akan melakukan *re-desain* agar komponen yang akan dibuat tidak mengalami masalah.

7. Pemilihan Motor

Pemilihan motor ini dilakukan untuk mencari motor yang memiliki daya untuk menggerakkan sumbu X dan Y serta mudah dalam pemrogramannya.

8. Pembuatan Meja Mesin *Plasma Cutting*

Maksud dari pembuatan disini adalah proses pemotongan plat, bubut, penggerindaan, pengeboran, kemudian merakit komponen mekanik dan komponen elektrik yang telah ditentukan dan telah diperhitungkan, sehingga alat mampu bekerja secara optimal.

9. Pengujian Alat

Dalam hal ini yaitu pengujian dari pembuatan meja mesin *plasma cutting*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara gerakan mekanik dengan sistem elektrik.

Apabila hasil pengujian sesuai dengan standar maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan laporan.

10. Pembuatan laporan

Tahap ini merupakan ujung dari pembuatan meja mesin *plasma cutting*, yaitu dengan menarik kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Setelah itu dilakukan penulisan terhadap laporan dari penelitian yang telah dilakukan.

11. Selesai

3.2 Material Penyusun

Material utama penyusun rangka meja *plasma cutting* dalam tugas akhir ini adalah :

Tabel 3.1 Daftar Material Penyusun Rangka Meja *Plasma Cutting*

| No. | Nama | Kekuatan Yield |
|-----|-------------------|----------------|
| 1. | Aluminium 6061-T6 | 276 Mpa |
| 2. | Steel ST 37 | 235 MPa |

Sumber : *matweb.com*

Selain material-material diatas, beberapa penyusun seperti tebal cat, kabel dan panel diabaikan.

3.3 Perencanaan Model Mekanik

3.3.1 Komponen Mekanik

1. Pelat *Base*

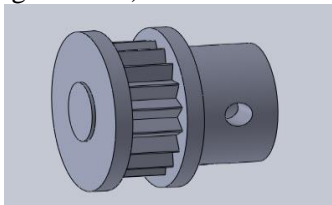
Pelat ini digunakan untuk menyangga beban keseluruhan meja mesin *plasma cutting*. Pelat besi ST37 dengan ketebalan 4 mm, lebar 484 mm, dan tinggi 185 mm .



Gambar 3.4 Pelat *Base*

2. *Pulley*

Pulley adalah komponen mekanis yang digunakan untuk mendistribusikan daya dari motor ke *belt* (sebagai pendukung dari *belt*).



Gambar 3.5 *Pulley*

3. *Belt* (sabuk)

Belt yang digunakan adalah *timing belt* tipe S5M 1000 (*number of teeth* = 200 & *belt circumference length* = 1000), dengan lebar 8 mm dan panjang 500 mm.



Gambar 3.6 *Belt* (Sabuk)

4. Kopling

Adalah alat yang digunakan untuk menghubungkan ujung poros motor dengan *screw* dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis. Diameter input 5 mm dan diameter output 8 mm.



Gambar 3.7 Kopling

5. Aluminium Profil

Bahan aluminium 20 x 40 mm yang digunakan untuk kerangka meja mesin plasma *cutting*.



Gambar 3.8 Aluminium Profil

6. *Linier Screw* dan *Lead Screw*

Linier Screw sebagai ulir penggerak untuk menggerakkan sumbu X dan Y dengan pitch 2 mm dan panjang 400 mm. *Lead Screw* berfungsi untuk mengubah gerak rotasi menjadi gerak linier.



Gambar 3.9 *Linier Screw* dan *Lead Screw*

7. *Sliding Rel Laci*

Sliding Rel laci atau lemari FE-37 (37 mm) panjang 400 mm dan 500 mm dengan *ball bearing* ini digunakan sebagai alternatif *sliding* untuk gerak sumbu X, Y, Z.



Gambar 3.10 *Sliding Rel Laci*

8. *Ball Bearing*

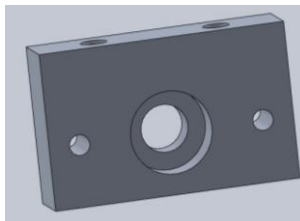
Adalah bantalan yang digunakan untuk menyangga dari *linier screw* dan mengurangi gaya gesek yang terjadi. *Ball bearing* 608ZZ dengan penutup dua sisi, diameter dalam 8mm, diameter luar 22mm, dan tebal 7mm.



Gambar 3.11 *Ball Bearing*

9. *Blok Bearing*

Merupakan tempat atau rumah dari *baering* yang terhubung ke *linier screw*.



Gambar 3.12 *Blok Bearing*

10. *Handwheel* dan As Full drat M8

Sebagai *Handle* untuk menggerakkan sumbu Z yang terhubung dengan as full drat M8 dengan pitch 1,25 mm.



Gambar 3.13 *Handwheel*

10. Baut dan Mur

Untuk mengikat part mekanik ataupun elektrik saat di *assembly*. Menggunakan M3, M4, M5.



Gambar 3.14 Baut dan Mur

BAB IV

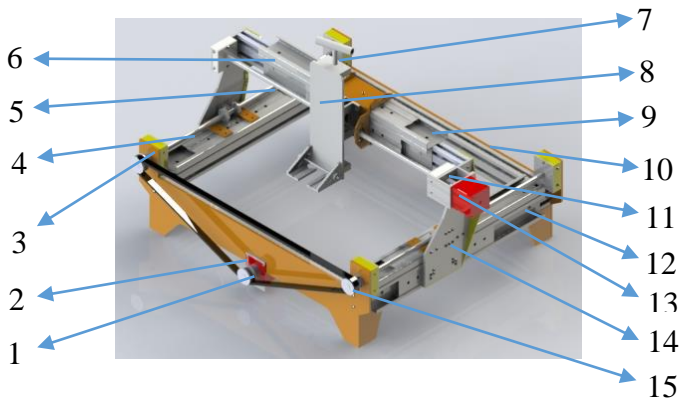
PERHITUNGAN

Pada bab ini akan dilakukan perhitungan – perhitungan yang meliputi perhitungan perencanaan elemen mesin, dan perencanaan sistem elektrikal yang akan dibutuhkan agar meja *plasma cutting* yang akan dibuat dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan yang direncanakan.

4.1 Desain menggunakan software CAD

Dalam proses desain ini akan dibahas mengenai desain struktural mekanik.

Pada material penyusun, akan dibahas mengenai data awal masing-masing material penyusun antara lain data kekuatan yield. Pada desain ini, software CAD telah dilengkapi dengan pengukuran massa rangka yang dibuat dengan sebelumnya pemilihan material yang digunakan.



Gambar 4.1 Desain 3D Meja Mesin *Plasma Cutting*
Menggunakan *Software CAD*

Keterangan :

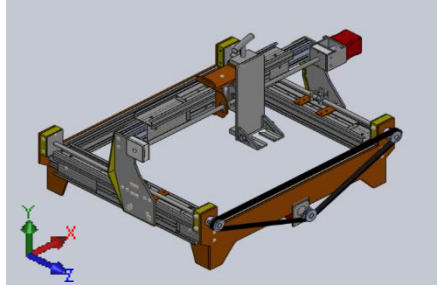
1. Motor stepper sumbu X
2. Penyangga motor stepper
3. *Block bearing* dan *bearing*
4. *Linier Screw*
5. *Linier screw* sumbu Y
6. Rel *sliding* sumbu Y
7. *Screw* sumbu Z
8. Penyangga *plasma cutting*
9. Aluminium profil
10. *Base*
11. *Flexible* kopling
12. Rel *sliding* sumbu X
13. Motor stepper sumbu Y
14. Penyangga sumbu Y
15. *Pulley*

Setelah didapatkan material penyusunnya, maka didesain menggunakan *software* CAD. Bagian masing-masing komponen digambarkan dalam bentuk 3 dimensi. Setelah digambar 3 dimensinya maka akan di *assembly* sehingga dengan *software* ini, akan didapatkan gambar virtual meja *plasma cutting*.

Kelebihan dengan menggunakan *software* CAD ini adalah sebagai berikut :

- Memperoleh gambaran bentuk virtual meja *plasma cutting*.
- Dapat merencanakan urutan pengerjaan dalam proses produksi yang nantinya dilakukan, misalkan bubut, drill, bending, dan lain-lain.
- Mengetahui material yang dibutuhkan dan jumlahnya.
- Dapat dilakukan simulasi sebagai bahan acuan kekuatan material dengan menganalisa statik menggunakan *software* analisa numerik.

4.1.1 Desain Meja *Plasma Cutting*



Gambar 4.2 Meja *Plasma Cutting Multiaxis*

4.2 Perhitungan Sistem Mekanik

4.2.1 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu X

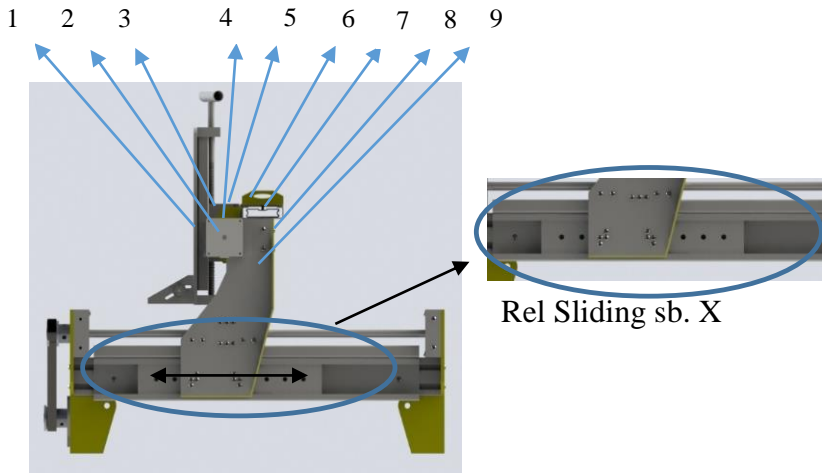
Ulir penggerak meja plasma cutting yang direncanakan dapat diperhitungkan dari beban sumbu X, yaitu :

Tabel 4.1 Komponen Sumbu YZ

| No. | Nama | Jumlah | Berat | Massa | Keterangan |
|-------|-------------------|--------|----------|-----------|------------|
| 1 | Komponen sumbu Z | 1 | 1,8 kgf | 0,184 kg | Ditimbang |
| 2 | Penyangga Motor Y | 1 | 0,1 kgf | 0,0102 kg | Ditimbang |
| 3 | Flexibel Kopling | 1 | 0,1 kgf | 0,102 kg | Ditimbang |
| 4 | Motor Stepper | 1 | 0,26 kgf | 0,0265 kg | Ditimbang |
| 5 | Ulir Penggerak Y | 1 | 0,3 kgf | 0,0306 kg | Ditimbang |
| 6 | Blok & Bearing Y | 2 | 0,15 kgf | 0,0153 kg | Ditimbang |
| 7 | Rel Sliding | 2 | 0,5 kgf | 0,051 kg | Ditimbang |
| 8 | Aluminium Profil | 1 | 0,3 kgf | 0,0306 kg | Ditimbang |
| 9 | Plat Penyangga Y | 2 | 0,2 kgf | 0,0204 kg | Ditimbang |
| Total | | 12 | 3,71 kgf | 0,3786 kg | |

Keterangan :

$$1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \text{ kg.m/s}^2$$



Gambar 4.3 Arah Gerakan Sumbu X

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$\frac{F}{\frac{1}{4}\pi d^2} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \cdot sf}{\pi \sigma_{yp}}}$$

Ulir penggerak dibuat dari bahn ST37 dengan $\sigma_{yp} = 235 \text{ N/mm}^2$, dengan beban 0,3786 kg setara dengan $(0,3786 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2) = 3,71 \text{ N}$ maka dapat diperhitungkan diameter poros ulir yang direncanakan.

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 3,71 \text{ N} \cdot 2,5}{3,14 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{37,1 \text{ N}}{737,9 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq 0,22 \text{ mm}$$

Dengan perhitungan diatas didapatkan diameter poros ulir adalah 0,26 mm. Untuk pembuatannya diameter yang digunakan adalah 8 mm, ini dikarenakan proses pemesinan konvensional tidak mampu menjangkau pembuatan diameter ulir penggerak tersebut sehingga pembuatan ulir penggerak menggunakan diameter luar 8 mm.

Dari pemilihan diameter ulir dapat diperhitungkan gaya yang direncanakan.

Diketahui :

Diameter luar ulir = 8 mm

Beban kerja = 0,3786 kg = 3,71 N

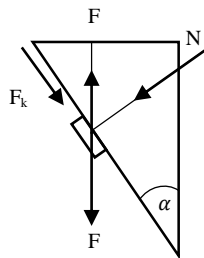
Koefisien gesek (μ) = 0,61

Menggunakan ulir metris M8 x 2 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Diameter luar (d) = 8 mm

Diameter efektif (d_2) = 7,188 mm

Pitch (p) = 2 mm



- Sudut ulir (θ)

$$\tan \theta = \frac{l}{\pi \cdot d}$$

$$\tan \theta = \frac{2}{3,14 \cdot 8}$$

$$\tan \theta = 0,0796$$

$$\tan \theta = 4,55^\circ$$
- Sudut geser (α)
 Jumlah sudut segitiga adalah 180° maka,

$$180^\circ = \alpha + \theta + 90^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - (\theta + 90^\circ)$$

$$\alpha = 180^\circ - (4,55^\circ + 90^\circ)$$

$$\alpha = 85,45^\circ$$
- Perhitungan gaya gesek yang terjadi,

$$F_k = \mu \cdot N$$

$$F_k = 0,61 \cdot 3,71 \text{ N}$$

$$F_k = 2,263 \text{ N}$$

Data yang telah dihitung dipergunakan untuk merencanakan gaya yang bekerja.

$$\begin{aligned}
 &\rightarrow \Sigma F_x = 0 \\
 &+ F_k \sin \alpha - N \sin \alpha = 0 \\
 &N = \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (4.1)
 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya pada sumbu X kemudian substitusi pers. (4.1)

$$\begin{aligned}
 &\uparrow + \Sigma F_y = F - W - F_k \cos \alpha - N \cos \alpha = 0 \\
 &F = W + F_k \cos \alpha + N \cos \alpha \\
 &F = W + F_k \cos \alpha + \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha} \\
 &= 3,71 \text{ N} + 2,263 \cos 85,45^\circ + \frac{2,263 \sin 85,45^\circ}{\sin 85,45^\circ} \\
 &= 6,152 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Torsi yang digunakan untuk beban maju :
(Sumber : shigley and mischke, 2001)

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l} \right)$$

$$T = \frac{6,152 \text{ N} \cdot 7,188 \text{ mm}}{2} \left(\frac{2 \text{ mm} + 0,61 \cdot 3,14 \cdot 7,188 \text{ mm}}{3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} - 0,61 \cdot 2 \text{ mm}} \right)$$

$$= 22,11 \text{ N} \cdot \text{mm} \left(\frac{15,768 \text{ mm}}{21,35 \text{ mm}} \right)$$

$$= 16,329 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$= 0,0163 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Torsi yang digunakan untuk beban mundur :

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - l}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot l} \right)$$

$$T = \frac{6,152 \text{ N} \cdot 7,188 \text{ mm}}{2} \left(\frac{0,61 \cdot 3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} - 2 \text{ mm}}{3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} + 0,61 \cdot 2 \text{ mm}} \right)$$

$$= 22,11 \text{ N} \cdot \text{mm} \left(\frac{11,768 \text{ mm}}{23,790 \text{ mm}} \right)$$

$$= 10,937 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$= 0,0109 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Pemilihan diameter ulir penggerak tersebut dapat dihitung tegangan yang terjadi pada ulir penggerak tersebut. Dengan menggunakan rumus elemen mesin.

- Tegangan Bending
Untuk menghitung tegangan bending yang bekerja, beban (W) dianggap merata dan bekerja pada diameter efektif ulir penggerak.

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot d_r \cdot n) b^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 0,83 \text{ lbf} \cdot 0,03 \text{ in}}{(3,14 \cdot 0,283 \text{ in} \cdot 2) \cdot (0,037 \text{ in})^2}$$

$$\sigma_b = 30,702 \text{ Psi}$$

$$\sigma_b = 0,212 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada ulir penggerak

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 0,83 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,427 \text{ in} \cdot 2 \cdot 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 12,548 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,087 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_o \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 0,83 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,255 \text{ in} \cdot 2 \cdot 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 21,01 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,145 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan tarik pada daerah kaki ulir

$$\sigma_t = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{dr+dp}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{0,83 \text{ lbf}}{\frac{3,14}{4} \left(\frac{0,255 \text{ in} + 0,427 \text{ in}}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{0,83}{0,785 \cdot 0,116}$$

$$\sigma_t = 9,11 \text{ Psi}$$

$$\sigma_t = 0,062 \text{ N/mm}^2$$

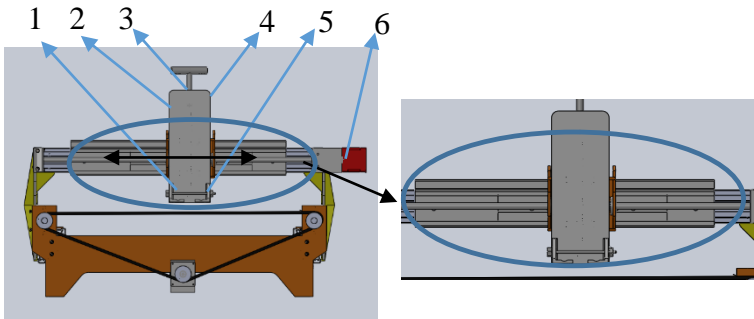
4.2.2 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu Y

Tabel 4.2 Komponen Sumbu Z

| No. | Nama | Jumlah | Berat | Massa | Keterangan |
|-------|------------------|--------|----------|-----------|------------|
| 1 | Penyangga Plasma | 1 | 0,3 kgf | 0,0306 kg | Ditimbang |
| 2 | Sliding Rel Z | 2 | 0,25 kgf | 0,0255 kg | Ditimbang |
| 3 | Ulir Penggerak Z | 1 | 0,1 kgf | 0,0102 kg | Ditimbang |
| 4 | Blok & Bearing | 2 | 0,15 kgf | 0,0153 kg | Ditimbang |
| 5 | Plasma | 1 | 1 kgf | 0,102 kg | Ditimbang |
| 6 | Motor | 1 | 0,26 kgf | 0,0265 kg | Ditimbang |
| Total | | 7 | 2,06 kgf | 0,21 kg | |

Keterangan :

$$1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \text{ kg.m/s}^2$$



Gambar 4.4 Arah Gerakan Sumbu Y

Dengan menggunakan material yang sama, maka dapat diperhitungkan diameter poros ulir yang direncanakan.

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2,06 \text{ N} \cdot 2,5}{3,14 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{20,6 \text{ N}}{737,9 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq 0,167 \text{ mm}$$

Dari perhitungan didapatkan diameter ulir penggerak 0,039 mm, dalam pembuatannya dibuat dengan diameter 8 mm dengan pertimbangan mesin mampu membuat ulir dengan diameter 8 mm.

Pemilihan diameter 8 mm dapat dijadikan data awal untuk menghitung gaya yang terjadi pada ulir penggerak sumbu Y.

Diketahui :

Diameter luar ulir = 8 mm

Beban kerja = 0,21 kg = 2,06 N

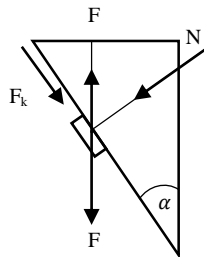
Koefisien gesek (μ) = 0,61

Menggunakan ulir metris M8 x 2 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Diameter luar (d) = 8 mm

Diameter efektif (d_2) = 7,188 mm

Pitch (p) = 2 mm



- Sudut ulir (θ)

$$\tan \theta = \frac{l}{\pi \cdot d}$$

$$\tan \theta = \frac{2}{3,14 \cdot 8}$$

$$\tan \theta = 0,0796$$

$$\theta = 4,55^\circ$$

- Sudut geser (α)
Jumlah sudut segitiga adalah 180° maka,

$$180^\circ = \alpha + \theta + 90^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - (\theta + 90^\circ)$$

$$\alpha = 180^\circ - (4,55^\circ + 90^\circ)$$

$$\alpha = 85,45^\circ$$
- Perhitungan gaya gesek yang terjadi,

$$F_k = \mu \cdot N$$

$$F_k = 0,61 \cdot 2,06 \text{ N}$$

$$F_k = 1,257 \text{ N}$$

Data yang telah dihitung dipergunakan untuk merencanakan gaya yang bekerja.

$$\begin{aligned} \rightarrow \quad & \Sigma F_x = 0 \\ + \quad & F_k \sin \alpha - N \sin \alpha = 0 \\ & N = \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha} \dots\dots\dots (4.2) \end{aligned}$$

Perhitungan gaya pada sumbu Y kemudian substitusi pers. (4.2)

$$\begin{aligned} \uparrow + \quad & \Sigma f_y = F - W - F_k \cos \alpha - N \cos \alpha = 0 \\ & F = W + F_k \cos \alpha + N \cos \alpha \\ & F = W + F_k \cos \alpha + \frac{F_k \sin \alpha}{\sin \alpha} \\ & = 2,06 \text{ N} + 1,257 \cos 85,45^\circ + \frac{1,257 \sin 85,45^\circ}{\sin 85,45^\circ} \\ & = 3,417 \text{ N} \end{aligned}$$

- Torsi yang digunakan untuk beban maju :
(Sumber : shigley and mischke, 2001)

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l} \right)$$

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{3,417 \text{ N} \cdot 7,188 \text{ mm}}{2} \left(\frac{2 \text{ mm} + 0,61 \cdot 3,14 \cdot 7,188 \text{ mm}}{3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} - 0,61 \cdot 2 \text{ mm}} \right) \\
 &= 12,3 \text{ N} \cdot \text{mm} \left(\frac{15,768 \text{ mm}}{21,35 \text{ mm}} \right) \\
 &= 9,084 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 &= 0,00908 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

- Torsi yang digunakan untuk beban mundur :

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{\mu \cdot \pi \cdot d_m - l}{\pi \cdot d_m + \mu \cdot l} \right) \\
 T &= \frac{3,417 \text{ N} \cdot 7,188 \text{ mm}}{2} \left(\frac{0,61 \cdot 3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} - 2 \text{ mm}}{3,14 \cdot 7,188 \text{ mm} + 0,61 \cdot 2 \text{ mm}} \right) \\
 &= 12,3 \text{ N} \cdot \text{mm} \left(\frac{11,768 \text{ mm}}{23,790 \text{ mm}} \right) \\
 &= 6,084 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 &= 0,00608 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

Pemilihan diameter ulir penggerak tersebut dapat dihitung tegangan yang terjadi pada ulir penggerak tersebut. Dengan menggunakan rumus elemen mesin.

- Tegangan Bending

Untuk menghitung tegangan bending yang bekerja, beban (W) dianggap merata dan bekerja pada diameter efektif ulir penggerak.

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot d_r \cdot n) b^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 0,463 \text{ lbf} \cdot 0,03 \text{ in}}{(3,14 \cdot 0,283 \text{ in} \cdot 2) \cdot (0,037 \text{ in})^2}$$

$$\sigma_b = 17,127 \text{ Psi}$$

$$\sigma_b = 0,118 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada ulir penggerak

$$\tau_{max} = \frac{3.W}{2.\pi.d_r.n.b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3.0,463 \text{ lbf}}{2.3,14.0,427 \text{ in} . 2 . 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 6,999 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,0482 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{max} = \frac{3.W}{2.\pi.d_o.n.b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3.0,463 \text{ lbf}}{2 . 3,14 . 0,255 \text{ in} . 2 . 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 11,721 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,0808 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan tarik pada daerah kaki ulir

$$\sigma t = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{dr+dp}{2} \right)^2}$$

$$\sigma t = \frac{0,463 \text{ lbf}}{\frac{3,14}{4} \left(\frac{0,255 \text{ in} + 0,427 \text{ in}}{2} \right)^2}$$

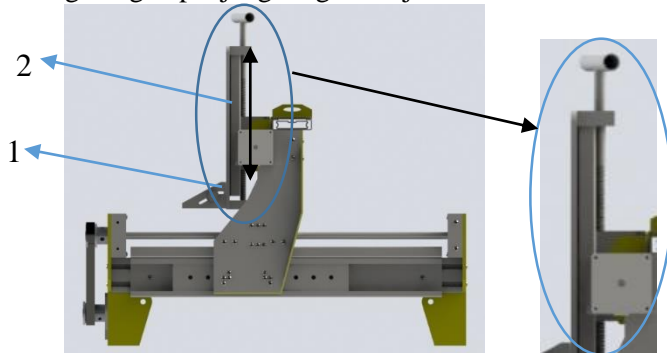
$$\sigma t = \frac{0,463}{0,785 . 0,116}$$

$$\sigma t = 5,085 \text{ Psi}$$

$$\sigma t = 0,035 \text{ N/mm}^2$$

4.2.3 Perencanaan Ulir Penggerak Sumbu Z

Perencanaan ulir penggerak sumbu Z dengan beban kerja (W) = 0,133 kg dengan panjang langkah sejauh 140 mm.



Gambar 4.5 Arah Gerakan Sumbu Z Sliding Sb. Z

Gaya Statis (Fs)

Tabel 4.3 Komponen Beban di Sumbu Z

| No. | Nama | Jumlah | Berat | Massa | Keterangan |
|-----|------------------|--------|---------|-----------|------------|
| 1. | Plasma Torch | 1 | 1 Kgf | 0,102 kg | Ditimbang |
| 2. | Penyangga Plasma | 1 | 0,3 kgf | 0,0306 kg | Ditimbang |
| | Jumlah | 2 | 1,3 Kgf | 0,133 Kg | |

Keterangan :

$$1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N} = 9,8 \text{ kg.m/s}^2$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2,06 \text{ N} \cdot 2,5}{3,14 \cdot 235 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{20,6 \text{ N}}{737,9 \text{ N/mm}^2}}$$

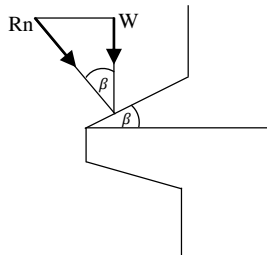
$$d \geq 0,167 \text{ mm}$$

Dari perhitungan didapatkan diameter ulir penggerak 0,039 mm, dalam pembuatannya dibuat dengan diameter 8 mm dengan pertimbangan mesin mampu membuat ulir dengan diameter 8 mm.

Pemilihan diameter 8 mm dapat dijadikan data awal untuk menghitung gaya yang terjadi pada ulir penggerak sumbu Z.

Diketahui :

Diameter luar ulir (d) = 8 mm
 Diameter efektif ulir (d_m) = 7,188 mm
 Beban kerja = 0,133 kg = 1,3 N
 Pitch = 1,25 mm



- Perhitungan gaya yang bekerja pada sumbu Z

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{W_z}{\cos \beta} \\ &= \frac{1,3 \text{ N}}{\cos 30^\circ} \\ &= 1,501 \text{ N} \end{aligned}$$

- Sudut ulir (α)

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{p}{\pi \cdot d} \\ \tan \alpha &= \frac{1,25}{3,14 \cdot 7,188} \\ \tan \alpha &= 0,0554 \\ \alpha &= 3,17^\circ \end{aligned}$$

- Koefisien gesek virtual

$$\mu_1 = \tan \theta = \frac{\mu}{\cos \beta}$$

$$\tan \theta = \frac{0,61}{\cos 30^\circ}$$

$$\tan \theta = 0,7044$$

$$\theta = 35,16^\circ$$

- Gaya yang dibutuhkan untuk melawan gesekan

$$F = W \tan (\alpha + \theta)$$

$$F = W \left[\frac{\tan \alpha + \tan \theta}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \theta} \right]$$

$$F = 1,3 \text{ N} \left[\frac{\tan 3,17 + \tan 35,16}{1 - \tan 3,17 \cdot \tan 35,16} \right]$$

$$= 1,3 \text{ N} \left[\frac{0,055 + 0,704}{1 - (0,055 \cdot 0,704)} \right]$$

$$= 1,3 \text{ N} \left[\frac{0,759}{1 - (0,055 \cdot 0,704)} \right]$$

$$= 1,3 \text{ N} [0,7896]$$

$$= 1,026 \text{ N}$$

- Torsi yang dibutuhkan melawan gesekan

$$T = F \cdot \frac{dm}{2}$$

$$T = 1,026 \cdot \frac{7,188}{2}$$

$$= 3,68 \text{ N.mm}$$

$$= 0,00368 \text{ N.m}$$

- Tegangan Bending

Untuk menghitung tegangan bending yang bekerja, beban (W) dianggap merata dan bekerja pada diameter efektif ulir penggerak.

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot W \cdot h}{(\pi \cdot d_r \cdot n) b^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 0,293 \text{ lbf} \cdot 0,03 \text{ in}}{(3,14 \cdot 0,283 \text{ in} \cdot 2) \cdot (0,037 \text{ in})^2}$$

$$\sigma_b = 10,838 \text{ Psi}$$

$$\sigma_b = 0,0747 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada ulir penggerak

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_r \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 0,293 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,427 \text{ in} \cdot 2 \cdot 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 4,429 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,03 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan geser maksimum pada mur

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot d_o \cdot n \cdot b}$$

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot 0,293 \text{ lbf}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,255 \text{ in} \cdot 2 \cdot 0,037 \text{ in}}$$

$$\tau_{max} = 7,417 \text{ Psi}$$

$$\tau_{max} = 0,051 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan tarik pada daerah kaki ulir

$$\sigma_t = \frac{W}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{d_r + d_p}{2} \right)^2}$$

$$\sigma_t = \frac{0,293 \text{ lbf}}{\frac{3,14}{4} \left(\frac{0,255 \text{ in} + 0,427 \text{ in}}{2} \right)^2}$$

$$\sigma t = \frac{0,293}{0,785 \cdot 0,116}$$

$$\sigma t = 2,248 \text{ Psi}$$

$$\sigma t = 0,015 \text{ N/mm}^2$$

4.3 Perencanaan Daya Motor

Untuk merancang meja mesin *plasma cutting* ini perlu adanya perencanaan daya motor yang diperlukan agar sesuai dengan kebutuhan. Perencanaan yang diinginkan adalah dengan motor stepper 200 pulsa/rotasi dan kecepatan pulsa masuk 1000 pulsa/detik, maka dapat direncanakan kecepatan putar motor :

$$n = 60 \frac{Pps}{Np}$$

$$n = 60 \frac{1000}{200}$$

$$n = 300 \text{ Rpm}$$

Keterangan :

n = Kecepatan putar motor (Rpm)

Pps = Kecepatan pulsa masuk (Pulsa/detik)

Np = Banyaknya pulsa satu kali putar (Pulsa/rotasi)

Dengan demikian didapatkan ketelitian motor yang direncanakan :

$$\sigma = \text{°/pulsa}$$

$$\sigma = \frac{1}{Np} \times 360^\circ$$

$$\sigma = \frac{1}{200} \times 360^\circ$$

$$\sigma = 1,8^\circ/\text{pulsa}$$

4.3.1 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu X

Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu X yaitu :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= 0,3786 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \\ F &= 3,71 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

Subtitusikan persamaan (1) ke,

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ T &= 3,71 \text{ N} \cdot 0,004 \text{ m} \\ T &= 0,0148 \text{ N.m} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya yang direncanakan pada sumbu X (N)} \\ T &= \text{Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)} \\ r &= \text{Jari-jari poros penggerak yaitu } 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ (m)} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \pi n}{60} \\ \omega &= \frac{2 \pi 300}{60} \\ \omega &= 31,4 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu X :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ P &= 0,0148 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik} \\ P &= 0,464 \text{ watt} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$P = \text{Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)}$$

4.3.2 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu Y

Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu Y yaitu :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= 0,21 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \\ F &= 2,06 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Subtitusikan persamaan (3) ke,

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ T &= 2,06 \text{ N} \cdot 0,004 \text{ m} \\ T &= 0,00824 \text{ N.m} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya yang direncanakan pada sumbu Y (N)} \\ T &= \text{Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)} \\ r &= \text{Jari-jari poros penggerak yaitu } 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ (m)} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \pi n}{60} \\ \omega &= \frac{2 \pi 300}{60} \\ \omega &= 31,4 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu Y :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ P &= 0,00824 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik} \\ P &= 0,259 \text{ watt} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$P = \text{Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)}$$

4.3.2 Perencanaan Daya Motor pada Sumbu Z

Torsi yang dibutuhkan motor untuk menggerakkan sumbu Z yaitu :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ F &= 0,133 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \\ F &= 1,3 \text{ kg.m/s}^2 \text{ (N)} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

Subtitusikan persamaan (5) ke,

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ T &= 1,3 \text{ N} \cdot 0,004 \text{ m} \\ T &= 0,0052 \text{ N.m} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya yang direncanakan pada sumbu Z (N)} \\ T &= \text{Torsi yang direncanakan pada motor (N.m)} \\ r &= \text{Jari-jari poros penggerak yaitu } 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ (m)} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya yang dibutuhkan pada motor stepper adalah:

Dengan menghitung kecepatan sudut (ω) terlebih dahulu,

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2 \pi n}{60} \\ \omega &= \frac{2 \pi 300}{60} \\ \omega &= 31,4 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Sehingga dapat ditentukan daya motor yang dibutuhkan pada sumbu Z :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ P &= 0,0052 \text{ N.m} \cdot 31,4 \text{ rad/detik} \\ P &= 0,16 \text{ watt} \end{aligned}$$

Keterangan :

$$P = \text{Daya motor yang dibutuhkan direncanakan (Watt)}$$

Sehingga dari data yang didapat dari perhitungan torsi terbesar dan daya terbesar ditentukan motor *stepper* dengan daya dan torsi yang lebih besar yaitu $P = 20,4 \text{ watt}$, $T = 4 \text{ Kg.cm} = 0,04 \text{ Kg.m} = 3,92 \times 10^{-1} \text{ N.m}$. Dipilihnya motor *stepper* karena harga yang relatif lebih murah dibanding dengan motor *servo*.

4.4 Perencanaan *Belt* dan *Pulley*

Setelah mendapatkan motor dari perhitungan torsi dan daya, selanjutnya merencanakan *belt* dan *pulley* yang sesuai dari spesifikasi motor *stepper*. (lampiran 1).

Diketahui :

$$P = V \times I = 12 \text{ volt} \times 1,7 \text{ Ampere} = 20,4 \text{ Watt}$$

$$D_1 = 22 \text{ mm}$$

$$n_1 = 300 \text{ rpm}$$

$$D_2 = 22 \text{ mm}$$

$$n_2 = 300 \text{ rpm}$$

$$\text{Torsi} = 4 \text{ Kg.cm} = 40 \text{ Kg.mm}$$

- Untuk mencari kecepatan pada *belt* dan *pulley* (V)

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000}$$

$$= \frac{\pi \cdot 22 \cdot 300}{60000}$$

$$= 0,3454 \text{ m/s}$$

- Untuk mencari gaya efektif (Fe)

$$F_e = \frac{102 \cdot P}{v}$$

$$= \frac{102 \cdot 0,0204 \text{ kw}}{0,3454 \text{ m/s}}$$

$$= 6,254 \text{ kg}$$

- Untuk mencari gaya sentrifugal (F_c)

$$\begin{aligned} F_c &= \left(\frac{0,1 \text{ kg}}{9,8} \right) \cdot (1,1524)^2 \\ &= 0,010 \cdot 1,328 \\ &= 1,0132 \text{ kgf} \end{aligned}$$

- Untuk mencari gaya tarik sabuk maksimum (F_1)

$$\begin{aligned} F_1 &= F_e + F_c \\ &= 1,805 + 0,0132 \\ &= 1,8182 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Untuk mencari perencanaan daya pada *belt* (P_d)

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \cdot p \\ &= 1,2 \cdot 0,024 \text{ kw} \\ &= 0,02448 \text{ kw} \end{aligned}$$

- Untuk mencari luas penampang *belt* (A)

$$\begin{aligned} A &= (H - h) \cdot 6 \text{ mm} \\ &= (3,41 - 1,91) \cdot 6 \text{ mm} \\ &= 9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Untuk mencari tegangan maksimum *belt* (σ_{max})

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{1,8182 \text{ kgf}}{9 \text{ mm}^2} \\ &= 0,202 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

- Untuk mencari umur *belt* (H)

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{N_{base}}{3600 \cdot U \cdot X} \cdot \left(\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}} \right)^m \\
 &= \frac{10^7}{3600 \cdot 0,00230 \cdot 3} \left(\frac{0,9 \text{ kg/mm}^2}{0,202 \text{ kg/mm}^2} \right)^8 \\
 &= 6,2514 \cdot 10^{10} \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari U dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{V}{L} \\
 &= \frac{1,1524}{500} \\
 &= 0,00230
 \end{aligned}$$

Nilai σ_{fat} dan m ditentukan berdasarkan bahan dan tipe *belt*:

1. Untuk *belt* datar nilai $m = 5$ dan untuk *V-belt* nilai $m = 8$ (bahan terbuat dari karet dan *cotton*)

2. $N_{Base} = 10^7 \text{ cycle}$, maka harga σ_{fat} adalah:

Untuk *belt* datar : $\sigma_{fat} = 60 \text{ kg/cm}^2$ (bahan karet)

Untuk *belt* datar : $\sigma_{fat} = 30 \text{ kg/cm}^2$ (bahan *cotton*)

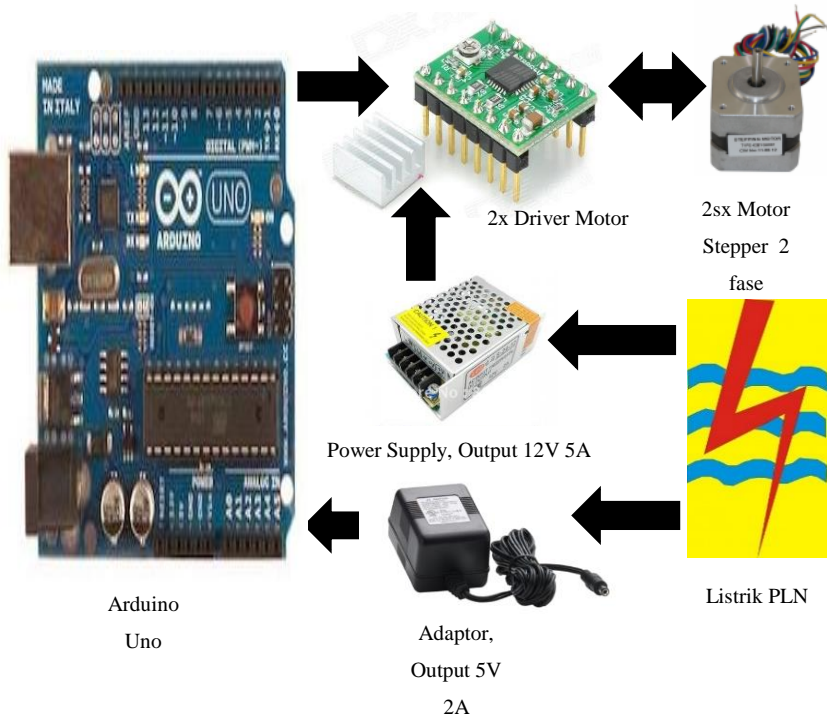
Untuk *V-belt* : $\sigma_{fat} = 90 \text{ kg/cm}^2$

4.5 Perancangan Model Elektrik

4.5.1 Komponen Elektrik

4.5.1.1 Block Diagram Komponen Elektrik

Perancangan sistem elektrik meja mesin *plasma cutting* diperlukan untuk mengatur gerakan dan kecepatan dari motor *stepper* baik sumbu X maupun Y.



Keterangan :

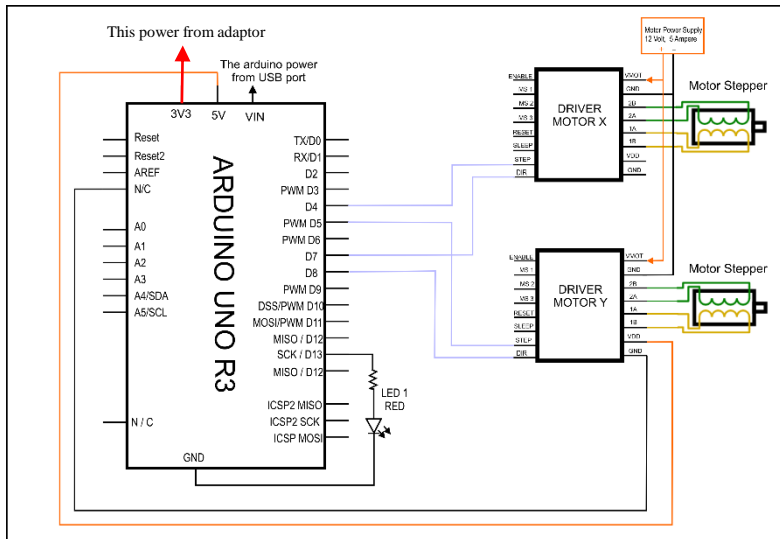


: Koneksi satu arah
: Koneksi dua arah

Gambar 4.6 Blok Diagram antar Komponen Elektrik

4.5.1.2 Wiring Diagram

Wiring adalah sebuah cara penataan dan pengaturan kabel dalam sebuah jaringan komputer yang ditunjang oleh beberapa tool keamanan, agar kabel tersebut dapat terlihat rapih dan aman dalam jangka panjang.



Gambar 4.7 *Wiring Diagram*

Komponen-komponen pada Gambar 3.14 merupakan komponen utama pada meja mesin *plasma cutting* dengan motor stepper. Komponen-komponen tersebut sebagai berikut:

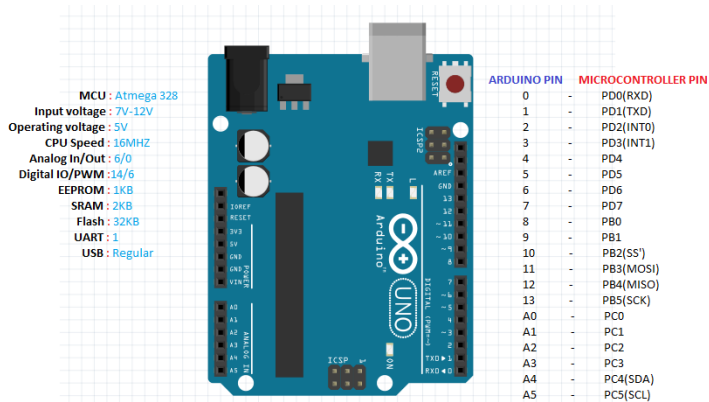
1. *Arduino Uno R3*

Board *Arduino Uno R3* memiliki fitur-fitur sebagai berikut :

- 1,0 *pin out* : tambah SDA dan SCL pin yang dekat ke pin Aref (sumber 5VDC) dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat ke pin RESET, dengan IO REF yang memungkinkan sebagai *buffer* untuk beradaptasi dengan tegangan yang disediakan dari board sistem. Pengembangannya, sistem akan lebih kompatibel dengan *Prosesor* yang menggunakan

AVR, yang beroperasi dengan 5V dan dengan Arduino Karena yang beroperasi dengan 3.3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya.

- *Circuit Reset*



Gambar 4.8 Board Arduino Uno

Tabel 3.1 Spesifikasi Arduino Uno

| | |
|------------------------|--------------------------|
| <i>Mikrokontroler</i> | Atmega328 |
| <i>Operasi Voltage</i> | 5V |
| <i>Input Voltage</i> | 7-12 V (Rekomendasi) |
| <i>Input Voltage</i> | 6-20 V (limits) |
| <i>I/O</i> | 14 pin (6 pin untuk PWM) |
| <i>Arus</i> | 50 mA |
| <i>Flash Memory</i> | 32KB |
| <i>Bootloader</i> | SRAM 2 KB |
| <i>EEPROM</i> | 1 KB |
| <i>Kecepatan</i> | 16 Mhz |

2. Adaptor

Adaptor dengan input tegangan 220V arus AC dari listrik PLN mampu memberi daya output yaitu 5VDC dengan arus 2A.



Gambar 4.9 Adaptor 5V 2A

3. *Driver Motor Stepper A4988*

A4988 adalah driver motor yang digunakan untuk mengontrol motor stepper dengan pengoperasian yang mudah. Hal ini dirancang untuk motor stepper bipolar pada mode langkah penuh, setengah, seperempat, satu perdelapan, dan satu perenambelas. Dengan kapasitas daya kurang lebih 35V dan 2A. Kelebihan dan Keuntungan :

- *Low RDS (ON) outputs.*
- *Automatic current decay mode detection/selection.*
- *Mixed and Slow current decay modes.*
- *Synchronous rectification for low power dissipation.*
- *Internal UVLO Crossover-current protection.*
- *Thermal shutdown circuitry.*
- *Short-to-ground protection.*
- *Shorted load protection.*

Five selectable step modes: full, 1/2, 1/4, 1/8, and 1/16



Gambar 4.10 Driver Motor Stepper A4988

4. Power Supply

Power supply dengan *input* tegangan 220V arus AC dari listrik PLN mampu mensupply daya *output* yaitu 12 VDC dengan arus 5A.



Gambar 4.11 *Power Supply* 5A

5. Motor Stepper Nema 17HS4401

Spesifikasi dari motor tipe ini adalah motor dengan gerakan sudut $1,8^\circ$ /pulsa, dengan arus 1,7A per phase. Motor stepper nema ini termasuk 2 phase, tegangan 12 VDC, *resistance* 1,5 Ohm/phase inductance 2,8 mH/phase, dan holding torque 4 Kgf.cm.



Gambar 4.12 Motor Stepper Nema 17HS4401

....(halaman ini sengaja dikosongkan)....

BAB V

HASIL DAN ANALISA

5.1 Pengujian Alat

Dari meja mesin *plasma cutting* diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data awal alat

| NO | | | |
|----|-------------|-----|-----|
| 1 | Massa Total | 10 | Kgf |
| 2 | Sumbu X | 200 | mm |
| 3 | Sumbu Y | 120 | mm |
| 4 | Sumbu Z | 140 | mm |

Dari data motor *stepper* NEMA diperoleh:

Tabel 5.2 Data motor

| Faktor | Nilai |
|----------------|-----------|
| Daya Maksimum | 20,4 Watt |
| Torsi Maksimum | 4 Kg.cm |

5.2 Sistem Gerak Sumbu X

a. Pengujian Sistem Mekanik Meja *Plasma Cutting*

Pada sumbu X ini selain menopang sumbu Y juga menopang sumbu Z diatasnya. Sumbu X digerakkan dengan motor *stepper* DC dan ulir penggerak M8 x 2.0. panjang sumbu X ini hanya dapat digerakkan maksimal dengan panjang 200mm. Dari pergerakan ini dilakukan uji coba hasil geraknya. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak

dengan memutar ulir secara manual (dengan tangan). Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak masing-masing sebanyak 10 kali putaran. Dengan 10 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$10 \times \text{pitch} = 10 \times 2\text{mm} \\ = 20\text{mm}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 10 kali putaran sebesar 20mm.

Dalam hal ini, uji coba yang dilakukan adalah gerak dari sumbu X tanpa menggunakan motor karena untuk mengetahui terlebih dahulu ketelitian yang didapat tiap titik ulir penggerak. Uji coba ini didapat data-data sebagai berikut:

Tabel 5.3 Hasil analisa gerak pada sumbu X

| No | Uji Coba | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | <i>Backlash</i> (mm) |
|----|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Dari titik awal menuju titik akhir | 200 | 200 | 0 |

Hasil percobaan seperti gambar sebagai berikut



Gambar 5.1 Sumbu X saat titik awal

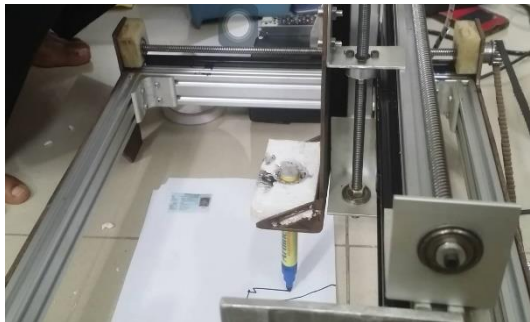


Gambar 5.2 Sumbu X saat titik akhir

Dalam uji coba diatas, tidak terjadi *backlash* pada masing-masing titik. Uji coba ini dilakukan untuk menentukan ketelitian dari alat tersebut.

b. Pengujian Sistem Gerak Membuat Garis Lurus

Pada pengujian untuk kelurusan ini menggunakan motor sebagai penggerak. Uji coba ini dilakukan untuk mendapatkan sebuah garis dengan menggunakan kecepatan motor sebesar 500 rpm dengan panjang 50 mm. Garis yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 5.3 Hasil dari Pengujian Garis Lurus pada Sumbu X

Pada uji coba tugas akhir ini didapat garis yang tidak lurus seperti halnya menggaris. Hasil yang diperoleh adalah garis seperti bergerigi/bergelombang meskipun tidak terlalu kasar. Dalam analisa secara langsung hal ini terjadi karena sebab-sebab :

1. Saat pemotongan *belt* tidak presisi
2. Ketidak presisian proses pembuatan dimensi rangka dari alat.

Akan tetapi alat ini menjamin kelurusan dari garis yang dibuatnya. Gerakkan ini diulangi dengan beberapa kali uji coba dan hasil yang diperoleh garis lurus walaupun bergerigi. Gerakkan ini diulang-ulang dengan gerakan maju dan mundur dan didapat garis yang sama antara maju dan mundur.

5.3 Sistem Gerak Sumbu Y

a. Pengujian Sistem Mekanik Meja *Plasma Cutting*

Pada sumbu Y ini menopang sumbu Z diatasnya. Sumbu Y digerakkan dengan motor *stepper* DC dan ulir penggerak M8 x 2.0. Panjang sumbu Y ini dapat digerakkan maksimal dengan panjang sebesar 190 mm. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak yang telah dibuat dengan memutar ulir penggerak secara manual dengan tangan. Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak masing-masing sebanyak 10 kali putaran. Dengan 10 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$10 \times \text{pitch} = 10 \times 2 \text{ mm} \\ = 20 \text{ mm}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 10 kali putaran sebesar 20 mm. Hasil dari uji coba ini adalah sebagai berikut;

Tabel 5.4 Hasil analisa gerak pada sumbu Y

| No | Uji Coba | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | <i>Backlash</i> (mm) |
|----|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Dari titik awal menuju titik akhir | 200 | 190 | 0 |

Hasil percobaan seperti gambar sebagai berikut:



Gambar 5.4 Sumbu Y Saat Titik Awal

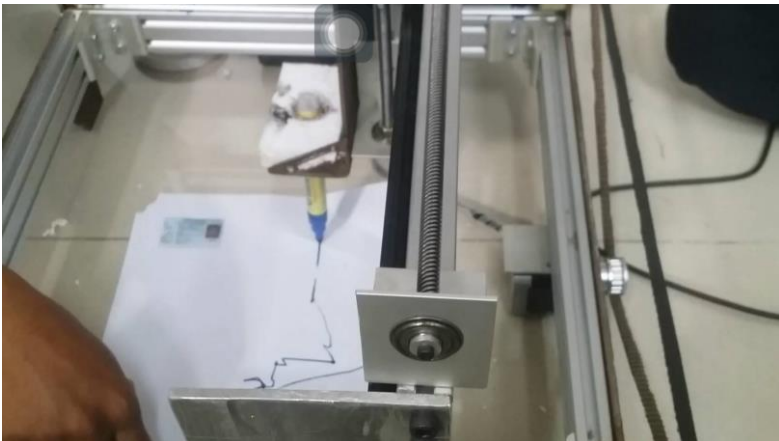


Gambar 5.5 Sumbu Y Saat Titik Akhir

Dalam uji coba diatas, tidak terjadi *backlash* pada masing-masing titik. Uji coba ini dilakukan untuk menentukan ketelitian dari alat tersebut. Akan tetapi, terjadinya perbedaan jarak antara yang diinginkan dengan sebenarnya diakibatkan oleh *sliding* yang menggunakan rel laci. Konstruksi dari *sliding* rel laci gerakannya terbatas oleh rangka dari meja mesin *plasma cutting*.

b. Pengujian Sistem Gerak Membuat Garis Lurus

Pada pengujian gerak untuk membuat garis lurus ini menggunakan motor sebagai penggerak. Penggerakkan ini dilakukan untuk mendapatkan sebuah garis dengan menggunakan kecepatan motor sebesar 500 rpm dengan panjang 50mm. Garis yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 5.6 Hasil dari Pengujian Garis Lurus pada Sumbu Y

Pada uji coba tugas akhir ini didapat garis yang tidak lurus seperti halnya menggaris. Hasil yang diperoleh adalah garis seperti bergerigi/bergelombang meskipun tidak terlalu kasar. Dalam analisa secara langsung hal ini terjadi karena sebab-sebab :

1. Saat pemotongan *belt* tidak presisi
2. Ketidak presisian proses pembuatan dimensi rangka dari alat.

Akan tetapi alat ini menjamin kelurusan dari garis yang dibuatnya. Gerakkan ini diulangi dengan beberapa kali uji coba dan hasil yang diperoleh garis lurus walaupun bergerigi. Gerakkan ini diulang-ulang dengan gerakan ke kanan dan ke kiri.

5.4 Sistem Gerak Sumbu Z

a. Pengujian sistem mekanik meja mesin *plasma cutting*

Pada pergerakan ini dilakukan pengujian sama seperti pengujian pada sumbu X dan sumbu Y. Dalam uji coba ini dilakukan pengujian ketelitian dari ulir penggerak yang telah ditentukan dengan cara memutar ulir secara manual (dengan tangan). Uji coba ini dilakukan pada 1 titik ulir penggerak dengan memutar ulir penggerak sebanyak 10 kali putaran. Data yang diperoleh sebagai berikut :

Dengan 10 kali putaran maka didapat jarak sebesar :

$$\begin{aligned} 10 \times \text{pitch} &= 10 \times 1,25 \text{ mm} \\ &= 12,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan ini maka jarak yang diinginkan setiap 10 kali putaran adalah sebesar 12,5 mm.

Tabel 5.5 Hasil analisa gerak pada sumbu Z

| No | Uji Coba | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | <i>Backlash</i> (mm) |
|----|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | Dari titik awal menuju titik akhir | 100 | 140 | 0 |

Hasil dari uji coba gerak pada sumbu Z didapatkan 140mm, sedangkan yang diinginkan sepanjang 100mm. Ketidak

cocokan antara hasil dengan yang diinginkan disebabkan oleh antara desain dan alat tidak sesuai.

Hasil dari gerak sumbu Z seperti tampak pada gambar sebagai berikut :



Gambar 5.7 Sumbu Z saat titik awal



Gambar 5.8 Sumbu Z saat titik akhir

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada pembahasan bab sebelumnya, maka dalam penulisan buku ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk gerak sumbu X direncanakan bergerak sepanjang 200 mm, pada hasil pengujian gerak pada sumbu X mampu bergerak sepanjang 200 mm sesuai yang direncanakan. Untuk gerak sumbu Y direncanakan bergerak sepanjang 200 mm, namun pada hasil pengujian gerak pada sumbu Y bergerak sepanjang 190 mm. Hasil pada pengujian gerak sumbu Y tidak sesuai dengan yang direncanakan karena konstruksi dari rel laci telah mencapai batas gerakanya. dan untuk sumbu Z direncanakan bergerak sepanjang 100 mm, sedangkan pada hasil uji gerakannya diperoleh 140 mm. Gerak pada sumbu Z tidak sesuai dengan yang direncanakan karena pembuatan sumbu Z tidak sesuai dengan desain.
2. Dari perhitungan didapat torsi dan daya terbesar untuk menggerakkan meja mesin *plasma cutting*, yaitu sebesar $T = 0,0148 \text{ N.m}$, $P = 0,464 \text{ watt}$. Dari tersebut dapat dipilih motor stepper dengan spesifikasi $T = 4 \text{ Kg.Cm} = 0,04 \text{ Kg.m} = 0,0392 \text{ N.m}$ dan $P=20,4 \text{ watt}$. Dipilihnya motor stepper karena harga relatif terjangkau dibandingkan dengan motor servo. Kami memilih jenis ulir penggerak metrik karena mudah didapatkan dipasaran dan sering gunakan untuk membuat mesin CNC maupun 3D printer. Ulir yang dipilih memiliki diameter M8 dan pitch 2 mm, sehingga ketelitian yang didapat dari *pitch* 2 mm dan *step angle* dari motor *stepper* adalah $1,8^0$ per pulsa adalah 0,01 mm/pulsa.

3. Rel laci bisa digunakan sebagai alternatif penggerak. Rel laci bergerak dengan lembut (*Slow motion*) sehingga cocok untuk alternatif penggerak.

6.2 Saran

Dalam merencanakan sebuah alat produksi, ada beberapa hal yang perlu dicermati adalah :

1. Agar dapat menghasilkan produk yang baik maka dilakukan pengecekan komponen-komponennya.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar kedepannya alat dapat juga bergerak 5 axis.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai CNC plasma agar proses pemotongan *plasma cutting* lebih mudah.
4. Meminimalkan terjadinya kerugian pada pemakaian peralatan dan bahan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bagiasna, Komang, & Yuwono, Sigit, “Proses – Proses Non Konvensional”, Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITB
2. Joseph E. Shigley & Charles R. Mischke, 2001. *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
3. Deutschman, Aaron D, Walter J Michels, Charles E Wilson. 1975. *Machine Design Theory and Practice*. New York : Macmillan Publishing Co, Inc.
4. Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1991. *Dasar Perencanaan dan Elemen Mesin dan Pemilihan Elemen Mesin 10th Edition*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
5. Suk-Hwan Suh. 2008. *Theory and Design of CNC Systems*. Delta Electronics. 2010. *ASDA-AB Series User Manual*. Taoyuan: Delta Electronics, Inc.
6. http://www.motionking.com/support/Stepper_Motor_Basics.htm (diakses pada 27 Desember 2016)
7. <http://www.cncroutersource.com/acme-nuts.html> (diakses pada 31 November 2016)

.....(*halaman ini sengaja dikosongkan*).....

Lampiran 1

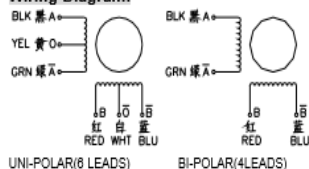
*Spesifikasi Motor Stepper

MotionKing (China) Motor Industry Co., Ltd.

2 Phase Hybrid Stepper Motor 17HS series-Size 42mm(1.8 degree)



Wiring Diagram:

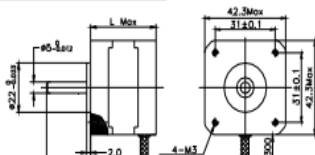


Electrical Specifications:

| Series Model | Step Angle (deg) | Motor Length (mm) | Rated Current (A) | Phase Resistance (ohm) | Phase Inductance (mH) | Holding Torque (N.cm Min) | Detent Torque (N.cm Max) | Rotor Inertia (g.cm ²) | Lead Wire (No.) | Motor Weight (g) |
|--------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|
| 17HS2408 | 1.8 | 28 | 0.8 | 8 | 10 | 12 | 1.6 | 34 | 4 | 150 |
| 17HS3401 | 1.8 | 34 | 1.3 | 2.4 | 2.8 | 28 | 1.6 | 34 | 4 | 220 |
| 17HS3410 | 1.8 | 34 | 1.7 | 1.2 | 1.8 | 28 | 1.6 | 34 | 4 | 220 |
| 17HS3430 | 1.8 | 34 | 0.4 | 30 | 35 | 28 | 1.6 | 34 | 4 | 220 |
| 17HS3630 | 1.8 | 34 | 0.4 | 30 | 18 | 21 | 1.6 | 34 | 6 | 220 |
| 17HS3616 | 1.8 | 34 | 0.16 | 75 | 40 | 14 | 1.6 | 34 | 6 | 220 |
| 17HS4401 | 1.8 | 40 | 1.7 | 1.5 | 2.8 | 40 | 2.2 | 54 | 4 | 280 |
| 17HS4402 | 1.8 | 40 | 1.3 | 2.5 | 5.0 | 40 | 2.2 | 54 | 4 | 280 |
| 17HS4602 | 1.8 | 40 | 1.2 | 3.2 | 2.8 | 28 | 2.2 | 54 | 6 | 280 |
| 17HS4630 | 1.8 | 40 | 0.4 | 30 | 28 | 28 | 2.2 | 54 | 6 | 280 |
| 17HS8401 | 1.8 | 48 | 1.7 | 1.8 | 3.2 | 52 | 2.6 | 68 | 4 | 350 |
| 17HS8402 | 1.8 | 48 | 1.3 | 3.2 | 5.5 | 52 | 2.6 | 68 | 4 | 350 |
| 17HS8403 | 1.8 | 48 | 2.3 | 1.2 | 1.6 | 46 | 2.6 | 68 | 4 | 350 |
| 17HS8630 | 1.8 | 48 | 0.4 | 30 | 38 | 34 | 2.6 | 68 | 6 | 350 |

*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

Dimensions: unit=mm



Motor Length:

| Model | Length |
|----------|--------|
| 17HS2XXX | 28 mm |
| 17HS3XXX | 34 mm |
| 16HS4XXX | 40 mm |

Sumber : www.MotionKing.com

Lampiran 2

*Macam-macam koefisien gesek

Table5 Frictional Resistances (μ) of LM Systems

| Types of LM systems | Representative types | Frictional resistance (μ) |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| LM Guide | SSR, SHS, SRS, RSR, HSR, NR/NRS | 0.002 to 0.003 |
| | SRG, SRN | 0.001 to 0.002 |
| Ball Spline | LBS, LBF, LT, LF | 0.002 to 0.003 |
| Linear Bushing | LM, LMK, LMF, SC | 0.001 to 0.003 |
| LM Stroke | MST, ST | 0.0006 to 0.0012 |
| LM Roller | LR, LRA | 0.005 to 0.01 |
| Flat Roller | FT, FTW | 0.001 to 0.0025 |
| Cross-roller Guide/Cross-roller Table | VR, VRU, VRT | 0.001 to 0.0025 |
| Linear Ball Slide | LS | 0.0006 to 0.0012 |
| Cam Follower/Roller Follower | CF, NAST | 0.0015 to 0.0025 |

Lampiran 3

*Spesifikasi Belt

| | | | | | | |
|---|--------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 6 | Sprockets to Chain | Transmission Accessories | Chain Couplings | Timing Belts | Shaft Collars | Prism-Beam Mill Drives |
| | Chinese Bearings | Computer/Cad/Cam Sprockets | Push Rods | Visi-Specifier Thread Colls | Timing Belts Pulleys/Shafts | |

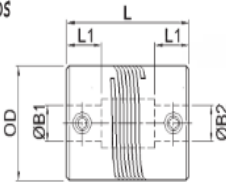
Lampiran 4

*Spesifikasi Kopling Fleksibel

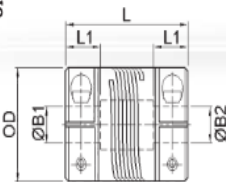
S-Beam Single Helix Beam Couplings - Stainless Steel



Set Screw Hubs



Clamp Hubs



DIMENSIONS & ORDER CODES

| Size | Set Screw Style | Clamp Style | Dimensions | | | | | | | Fasteners | | | |
|------|-----------------|-------------|------------|--------------|---------------|--------|--------|-------------|----------------|-----------|-----------|-------------|----------|
| | Order Code | | O.D. | O/A Length L | Bore Depth L1 | Min B1 | Min B2 | Max B1 & B2 | Mass kg x 10-3 | Set Screw | Cap Screw | Torque (Nm) | A/F (mm) |
| 16 | 820.16 | - | 15.9 | 20 | 6.0 | 3 | 4 | 6.35 | 25.6 | M4 | - | 1.05 | 2.0 |
| | - | 821.16 | | 22 | 6.5 | | | | 26.0 | - | M2.5 | 0.68 | 2.0 |
| 19 | 820.19 | - | 19.1 | 20 | 6.0 | 4 | 4.76 | 8 | 35.8 | M4 | - | 1.05 | 2.0 |
| | - | 821.19 | | 28 | 8.0 | | | | 47.7 | - | M2.5 | 0.68 | 2.0 |
| 25 | 820.25 | - | 25.4 | 24 | 7.5 | 5 | 6 | 10 | 78 | M5 | - | 2.10 | 2.5 |
| | - | 821.25 | | 30 | 10.0 | | | | 91 | - | M3 | 1.20 | 2.5 |
| 32 | 820.32 | - | 31.8 | 30 | 10.0 | 6 | 8 | 16 | 152 | M6 | - | 3.75 | 3.0 |
| | - | 821.32 | | 38 | 12.0 | | | | 186 | - | M4 | 2.85 | 3.0 |
| 38 | 820.38 | - | 38.1 | 50 | 16.0 | 8 | 12 | 19 | 365 | M6 | - | 3.75 | 3.0 |
| | - | 821.38 | | 50 | 16.0 | | | | 350 | - | M5 | 5.85 | 4.0 |
| 50 | 820.50 | - | 50.8 | 54 | 18.0 | 10 | 16 | 26 | 680 | M8 | - | 9.00 | 4.0 |
| | - | 821.50 | | 54 | 18.0 | | | | 660 | - | M6 | 9.75 | 5.0 |

PERFORMANCE

| Size | Peak Torque (Nm) | Max misalignment compensation | | | Nominal stiffness at std. bore size | |
|------|------------------|-------------------------------|-----------|----------|-------------------------------------|------------------|
| | | Angular deg | Radial mm | Axial mm | Bore | Torsional Nm/rad |
| 16 | 1.2 | 5 | 0.25 | 0.25 | 5 | 16 |
| 19 | 2.3 | 5 | 0.25 | 0.25 | 6 | 33 |
| 25 | 4.3 | 5 | 0.25 | 0.25 | 10 | 45 |
| 32 | 7.8 | 5 | 0.25 | 0.25 | 12 | 84 |
| 38 | 20 | 5 | 0.25 | 0.25 | 16 | 195 |
| 50 | 30 | 5 | 0.25 | 0.25 | 20 | 320 |

Materials & Finishes

Couplings: Stainless Steel 303 S31
Fasteners: Stainless Steel

Temperature Range

-40°C to +140°C

Lampiran 5

*Spesifikasi Ball Bearing

608ZZ Shielded Grease Ball Bearing 8mm x 22mm x 7mm 608ZZ Shielded Grease Ball Bearing, 608ZZ is made of Carbon Steel, 608ZZ is self lubricated bearing (bearing is already lubricated with oil), 608ZZ bearing has 2 metal shields to protect the bearing from dust or any possible contamination.



☐ [Compare](#)

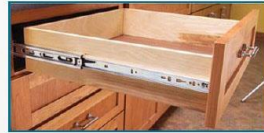
- Item: 608ZZ Ball Bearing
- Type: Deep Groove Ball Bearing
- Dimensions: 8mm x 22mm x 7mm/Metric
- Bearing Inner Diameter: 8mm
- Bearing Outer Diameter: 22mm
- Bearing Width: 7mm
- Size: 8 x 22 x 7 mm
- Closures: 2 Metal Shields
- Material: Carbon Steel
- Quantity: One Bearing
- Dynamic load rating Cr: 3,300 N
- Static load rating Cor: 1,350 N
- Limiting Speed:
- Grease Lubrication: 34,000 RPM
- Equal: 608-2Z
- Applications: Skateboards, Roller Blade, Inline Skating, scooter and Rollerblade
- KOYO: 608ZZ
- NSK: 608ZZ
- NMB: R-2280ZZ
- Equal: 608-2Z

Lampiran 6

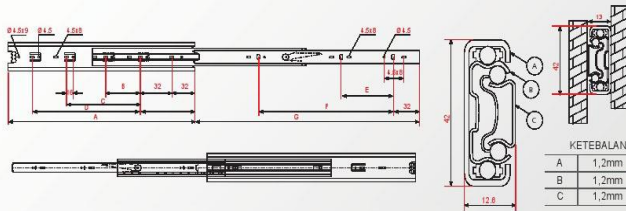
*Spesifikasi Sliding Rel Laci

RAIL DOUBLE TRACK / BALL BEARING FULL EXTENTION

0896-7701-5546
27618B5E



Warna : Hitam dan Zino
Ukuran : Lebar 37mm ; Panjang 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm, 500mm
Beban : Max. 25kg
Keunggulan : Full Extention (laci keluar penuh).



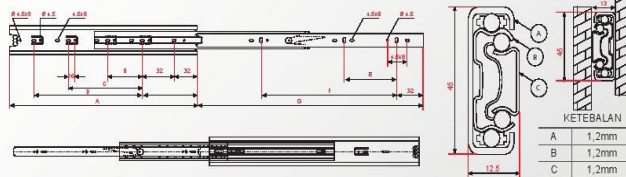
RAIL DOUBLE TRACK SLOWMOTION

*pengait dari nylon,
sehingga kuat dan tahan lama.*



*materi rel lebih tebal
pin terbuat dari besi sehingga tidak mudah patah*

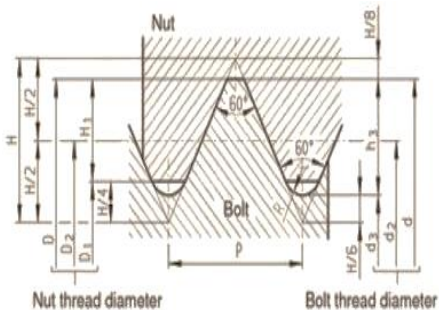
Warna : Zino
Ukuran : Lebar 45 ; Panjang 350mm, 400mm, 450mm, 500mm
Beban : Max. 40kg
Keunggulan : Slowmotion, Full Extention (laci keluar penuh).



Lampiran 7

Tabel I.S.O. *Metric Coarse Threads*

| O.Dia. | Core | Pitch | Depth | Flat | Effec. | Tapp'g Drill | Cl'ance Drill |
|--------|---------|-------|--------|---------|--------|--------------|---------------|
| 1.6 | 1.1706 | 0.35 | 0.2147 | 0.04375 | 1.373 | 1.25 | 1.65 |
| 1.8 | 1.3706 | 0.35 | 0.2147 | 0.04375 | 1.573 | 1.45 | 1.85 |
| 2.0 | 1.5092 | 0.40 | 0.2454 | 0.05000 | 1.740 | 1.60 | 2.05 |
| 2.2 | 1.6480 | 0.45 | 0.2760 | 0.05625 | 1.908 | 1.75 | 2.25 |
| 2.5 | 1.9480 | 0.45 | 0.2760 | 0.05625 | 2.208 | 2.05 | 2.60 |
| 3.0 | 2.3866 | 0.50 | 0.3067 | 0.06250 | 2.675 | 2.50 | 3.10 |
| 3.5 | 2.7638 | 0.60 | 0.3681 | 0.07500 | 3.110 | 2.90 | 3.60 |
| 4.0 | 3.1412 | 0.70 | 0.4294 | 0.08750 | 3.545 | 3.30 | 4.10 |
| 4.5 | 3.5798 | 0.75 | 0.4601 | 0.09375 | 4.013 | 3.80 | 4.60 |
| 5.0 | 4.0184 | 0.80 | 0.4908 | 0.10000 | 4.480 | 4.20 | 5.10 |
| 6.0 | 4.7732 | 1.00 | 0.6134 | 0.12500 | 5.350 | 5.00 | 6.10 |
| 7.0 | 5.7732 | 1.00 | 0.6134 | 0.12500 | 6.350 | 6.00 | 7.20 |
| 8.0 | 6.4664 | 1.25 | 0.7668 | 0.15625 | 7.188 | 6.80 | 8.20 |
| 10.0 | 8.1596 | 1.50 | 0.9202 | 0.18750 | 9.026 | 8.50 | 10.20 |
| 12.0 | 9.8530 | 1.75 | 1.0735 | 0.21875 | 10.863 | 10.20 | 12.20 |
| 14.0 | 11.5462 | 2.00 | 1.2269 | 0.25000 | 12.701 | 12.00 | 14.25 |
| 16.0 | 13.5462 | 2.00 | 1.2269 | 0.25000 | 14.701 | 14.00 | 16.25 |
| 18.0 | 14.9328 | 2.50 | 1.5336 | 0.31250 | 16.376 | 15.50 | 18.25 |
| 20.0 | 16.9328 | 2.50 | 1.5336 | 0.31250 | 18.376 | 17.50 | 20.25 |
| 22.0 | 18.9328 | 2.50 | 1.5336 | 0.31250 | 20.376 | 19.50 | 22.25 |
| 24.0 | 20.3194 | 3.00 | 1.8403 | 0.37500 | 22.051 | 21.00 | 24.25 |
| 27.0 | 23.3194 | 3.00 | 1.8403 | 0.37500 | 25.051 | 24.00 | 27.25 |
| 30.0 | 25.7060 | 3.50 | 2.1470 | 0.43750 | 27.727 | 26.50 | 30.50 |
| 33.0 | 28.7060 | 3.50 | 2.1470 | 0.43750 | 30.727 | 29.50 | 33.50 |
| 36.0 | 31.0924 | 4.00 | 2.4538 | 0.50000 | 33.402 | 32.00 | 36.50 |
| 39.0 | 34.0924 | 4.00 | 2.4538 | 0.50000 | 36.402 | 35.00 | 39.50 |
| 42.0 | 36.4790 | 4.50 | 2.7605 | 0.56250 | 39.077 | 37.50 | 42.50 |
| 45.0 | 39.4790 | 4.50 | 2.7605 | 0.56250 | 42.077 | 40.50 | 45.50 |
| 48.0 | 41.8646 | 5.00 | 3.0672 | 0.62500 | 44.752 | 43.00 | 48.75 |
| 52.0 | 45.8646 | 5.00 | 3.0672 | 0.62500 | 48.752 | 47.00 | 52.75 |
| 56.0 | 49.2522 | 5.50 | 3.3739 | 0.68750 | 52.428 | 50.50 | 56.75 |
| 60.0 | 53.2522 | 5.50 | 3.3739 | 0.68750 | 56.428 | 54.50 | 60.75 |
| 64.0 | 56.6388 | 6.00 | 3.6806 | 0.75000 | 60.103 | 58.00 | 64.75 |
| 68.0 | 60.6388 | 6.00 | 3.6806 | 0.75000 | 64.103 | 62.00 | 68.75 |



$$\begin{aligned}
 D_1 &= d + 2H_1 \\
 d_2 &= D_2 - d = 0.64952 P \\
 d_3 &= d = 1.22687 P \\
 H &= 0.86603 P \\
 H_1 &= 0.54127 P \\
 h_3 &= 0.61343 P \\
 R &= \frac{H}{6} = 0.14434 P
 \end{aligned}$$

Lampiran 8

*Spesifikasi aluminium profil 2040

Aluminium Profile 2040

| | |
|---------------|---|
| Description : | 20x40mm, 6 slot, standard |
| Material : | Aluminium alloy 6063-T5, anodised |
| Weight : | 0.80 kg/m |
| Length : | 6,000mm |
| Slot : |  |

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Brama Magrobi Harianto, lahir di Surabaya pada tanggal 04 Agustus 1994 dari pasangan bapak Pujo Harianto dan ibu Siti Asiyah. Dia merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara. Penulis bertempat tinggal di Jl. Kondensor no.05 Perum. PJB Desa Sukodadi Kecamatan Paiton. Perjalanan pendidikannya pendidikannya dimulai dari TK Kartini tahun 1999-2000, SDN Sukodadi 2 tahun 2000-2006, SMPN 1 Paiton 2007-2010, lalu melanjutkan ke SMAN 1 Kraksaan. Setelah lulus pada tahun 2013, dia mengikuti ujian masuk Diploma 3 ITS dan diterima di program studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dengan mengambil bidang studi manufaktur.

Motto hidup “**Nothing impossible**”. Selama dibangku kuliah penulis pernah kerja prakrek di PT. PJB UP PAITON selama satu bulan pada tahun 2015.

Penulis aktif mengikuti kegiatan non akademik berupa pelatihan dan seminar baik didalam maupun diluar jurusan. Seperti mengikuti pelatihan PKTI, LKMM Pra-TD, LKMM TD, seminar kewirausahaan, seminar energi terbarukan, dan seminar lain-lain. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Email : brama_magrobi12@yahoo.com

No. HP : 089 646 720 768

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Endi Cahyono, lahir di Tulungagung pada tanggal 20 Mei 1994 dari pasangan bapak Danu dan ibu Supingah. Dia merupakan anak ke dua dari dua bersaudara. Penulis bertempat tinggal di dusun Tales, desa Karanganom, kecamatan Kauman, kabupaten Tulungagung. Perjalanan pendidikannya pendidikannya dimulai dari TK Dharmawanita tahun 1999-2000, SDN 2 Kauman tahun 2000-2006, SMPN 2 Kauman 2007-2010, lalu melanjutkan ke SMKN 3 Boyolangu jurusan teknik kendaraan ringan (otomotif). Setelah lulus pada tahun 2013, dia mengikuti ujian masuk Diploma 3 ITS dan diterima di program studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dengan mengambil bidang studi manufaktur.

Motto hidup **“You Can If You Think Can”**. Selama dibangku kuliah penulis pernah kerja prakrek di PT.OMETRACO ARYA SAMANTA Surabaya selama satu bulan pada tahun 2016. Penulis pernah menjadi greder/asisten laboratorium Manufaktur, dan laboratorium Mekatronika tahun 2016. Selain menjadi staf departemen Kominfo Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin periode 2015-2016, dia juga menjadi salah satu pengurus bidikmisi kampus ITS (BIMITS) tahun 2013-2014.

Penulis juga aktif mengikuti organisasi sebagai divisi teknis Tim Basudewo mobil ethanol 2015. Serta aktif dalam kegiatan non akademik berupa pelatihan dan seminar baik didalam maupun diluar jurusan. Seperti mengikuti pelatihan Pra-TD, LKMM, PKTI, PJTD, seminar kewirausahaan, seminar keselamatan kerja, dan seminar lain-lain. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Email : endi.cahyono3@gmail.com

No. HP : 085 736 322 431